Università
Ca'Foscari
Venezia

Corso di Laurea Magistrale
in Economia e gestione delle aziende

Ca' Foscari
Dorsoduro 3246
30123 Venezia

Tesi di Laurea

Le dinamiche innovative della stampa 3D e l'impatto sui modelli produttivi esistenti

Relatore
Prof. Francesco Zirpoli

Laureando
Anna Mion
Matricola 821330

Anno Accademico
2012/2013

Ai miei genitori,
con profondo affetto e stima

Indice generale

Prefazione III

Capitolo 1: L'evoluzione dei modelli di produzione industriale

Introduzione....1

1.1 La *mass production* 2

1.1.1 Il paradigma della *mass production* 2

1.1.2 I "maestri" della *mass production* 3

1.1.3 Il declino della produttività 4

1.2 Teorie per il cambiamento e la ristrutturazione industriale 5

1.2.1 Long Wave Theories 6

1.2.2 Post-industrialismo 6

1.2.3 Regulation Theory 7

1.2.4 Specializzazione flessibile 7

1.3 La nascita di un nuovo paradigma: *flexible/agile production* 8

1.3.1 Il paradigma della produzione flessibile 10

1.3.2 Confronto tra paradigmi 12

1.4 Integrazione verticale ed orizzontale 12

1.5 I sistemi locali di produzione 15

1.5.1 Il modello dello sviluppo duale nord-sud 17

1.5.2 Il modello della sub-fornitura e del decentramento produttivo 18

1.5.3 Il modello dei distretti industriali 19

1.6 L'avvento della globalizzazione 22

1.7 I modelli economici di nuova generazione 23

1.7.1 E-commerce 25

1.7.2 Crowdfunding 27

1.8 Conclusioni 31

Capitolo 2: Cos'è la stampa 3D e come funziona

Introduzione....32

2.1 Che cos'è la stampa 3D? 34

2.2 Prospettiva storica 34

2.2.1 L'origine della prototipazione rapida 34

2.2.2 Dal 2D al *3D printing* 37

2.2.3 L'evoluzione del *3D printing* 37

2.3 Produzione additiva e sottrattiva 39

2.4 Il processo 40

2.4.1 Modellazione e realizzazione dei modelli 3D 40

2.4.2 Fase di stampa 42

2.4.3 Perfezionamento 43

2.5 Le tecniche di produzione 43

2.5.1 *Digital Light Processing* 43

2.5.2 Estrusione 45

2.5.3 Unione di materiale in granuli 47

2.5.4 Struttura laminare 49

2.6 I materiali 50
2.7 I maggiori produttori di stampanti 3D 51
2.8 Il prezzo 55
2.9 La *Digital Fabrication* 60
2.10 Conclusioni 61
Capitolo 3: Le dinamiche innovative nel settore della stampa 3D
Introduzione....62
3.1 La forma innovativa del *3D printing* 62
3.2 La curva a S del miglioramento e della diffusione delle stampanti 3D 64
3.3 Il timing d'ingresso nel mercato 67
3.3.1 3D Systems e Stratasys: i *first mover* del 3D printing 67
3.3.2 Le caratteristiche di 3D Systems e Stratasys come *first mover* 69
3.4 I meccanismi di protezione del *3D printing* 70
3.4.1 I sistemi proprietari e i sistemi aperti 70
3.4.2 RepRap e Fab@Home: i primi progetti open-source 71
3.4.3 Makerbot 76
3.4.4 Ultimaker 78
3.4.5 Solidoodle 79
3.4.6 Shapeways e Ponoko: l'e-commerce del *3D printing* 81
3.5 Il progetto Arduino 82
3.5.1 I Fablab 84
3.5.2 Makerfaire 87
3.6 La stampa 4D 88
3.7 Conclusioni 90

Capitolo 4: L'effetto sui modelli di produzione esistenti gli ambiti di applicazione della stampa 3D
Introduzione....91
4.1 L'uso delle stampanti 3D nella produzione su larga scala 91
4.2 *Short-Run Production* 93
4.2.1 *Rapid prototyping* 94
4.2.2 *Rapid manufacturing* 96
4.3 Produzione personalizzata 102
4.3.1 *Mass customization* 103
4.3.2 Personalizzazione 106
4.4 Il *3D printing* sfrutta la rete Internet come mezzo di diffusione 110
4.5 Industrie e mercati di applicazione 111
4.5.1 Industria aerospaziale/ difesa militare 112
4.5.2 Architettura 114
4.5.3 Automotive 116
4.5.4 Medicina 121
4.5.5 Odontoiatria 125
4.5.6 *Interior design* 127
4.5.7 Lifestyle product: gioielleria, articoli per lo sport e prodotti per hobby 128
4.5.8 Conclusioni 129
Conclusione generale 131

Prefazione

I giornali internazionali hanno definito la stampa 3D come la rivoluzione industriale del futuro. Già da un po' di tempo sembra iniziata una nuova era, quella della fabbrica personale, quella nella quale è possibile creare tutto ciò che si desidera nel proprio salotto di casa. Negli ultimi tre anni, la tecnologia del *3D printing* ha permesso di stampare praticamente ogni cosa: abiti, case, gioielli, opere d'arte, cibo, auto e persino organi umani. Tra tutti i casi che ci sono stati, l'evento più acclamato è stata la riproduzione di un violino Stradivarius originale funzionante, grazie alla tecnologia delle stampanti EOS. La portata innovativa di questa riuscita va ben oltre la semplice creazione di un violino d'epoca, si tratta dell'inizio di un nuovo modo di concepire la produzione industriale, di un ribaltamento di prospettiva.

Questo lavoro si propone di fornire un quadro generale delle caratteristiche e dell'applicazione del *3D printing* nel panorama economico attuale. Si presterà particolare attenzione ad analizzare l'impatto che la stampa 3D potrà scatenare sui modelli produttivi esistenti. A tale scopo, nel primo capitolo vengono studiati i modelli economici che si sono affermati lungo il corso della storia e sui quali la stampa 3D potrebbe avere importanti ripercussioni.

Il secondo capitolo è dedicato alla comprensione approfondita del concetto di stampa tridimensionale e di produzione additiva. L'obiettivo è quello di costruire la base di conoscenze necessarie che consentiranno poi di affrontare i temi trattati negli ultimi due capitoli. Partendo dalla definizione di *3D printing* e di *additive manufacturing,* si prenderanno in esame le fasi principali del processo di stampa 3D, le tecniche di produzione più diffuse, i materiali utilizzati ed il prezzo. Nella fase conclusiva del capitolo si cercherà di capire qual'è la dislocazione globale dei produttori di stampanti 3D: dov'è situata la maggioranza di essi e quali sono i Paesi in cui vi è larga concentrazione di case produttrici.

Dopo aver esaminato analiticamente la tecnologia delle stampanti 3D nel capitolo due, si procederà con la definizione del *3D printing* dal punto di vista innovativo. Il tema affrontato nel terzo capitolo riguarda le dinamiche innovative e l'evoluzione che il

mercato ha subito negli ultimi anni con la comparsa di imprese basate su un modello economico innovativo diverso da quello che caratterizza i *first mover* del settore. In questo capitolo si acquisirà confidenza con i principali *players* del mercato e si verificheranno i vantaggi e gli svantaggi dell'adozione di sistemi di protezione della tecnologia aperti e chiusi.

Alla luce delle informazioni acquisite nel corso dei primi capitoli, l'ultima parte tratterà gli argomenti salienti dello scritto. I modelli economici produttivi inseriti nel primo capitolo verranno qui ripresi al fine di documentare l'influenza della stampa 3D su alcuni di essi. Si descriveranno le funzioni che il *3D printing* svolge attualmente e quelle che potrà assolvere nel futuro con l'avanzamento della tecnologia.

Alcuni criticano le stampanti 3D accusandole di non trovare la loro vera e propria funzione all'interno del mercato, altri dicono che saranno confinate a compiere solamente attività di prototipazione senza mai riuscire a svolgere compiti di produzione vera e propria. In questo capitolo si cercherà di affrontare tali questioni e di attribuire alla stampa 3D una collocazione nel mondo produttivo attuale. Inoltre, quando possibile, si eseguirà un confronto con gli attuali metodi di produzione per mettere in luce i pregi e i difetti delle diverse tecnologie.

Di fronte ad un'evoluzione di mercato che spinge verso la personalizzazione dei prodotti, ci si chiede se i processi produttivi fino ad ora adoperati saranno in grado di assecondare le esigenze dei consumatori e cosa potrà fare concretamente la stampa tridimensionale in questo contesto. Durante il suo discorso al TED, Lisa Harouni, *co-founder* e CEO di Digital Forming, dice che le stampanti 3D possono essere definite come "*the next generation of customization*", la prossima generazione della customizzazione. La Harouni sostiene che la stampa 3D possa diventare un *virtual tool*, un laboratorio virtuale attraverso il quale le persone danno vita a prodotti personalizzati in completa autonomia. Anche se il procedimento per progettare disegni 3D sembra complesso, in realtà è più facile di quanto sembri e per gli utenti inesperti sono disponibili in rete programmi molto semplici. Gli oggetti che si realizzano sono molto intricati e il design è ottimo: la suddivisione in piani bidimensionali dei dati 3D consente di creare strutture molto più intricate e complesse di quanto non si riesca a fare con qualsiasi altro procedimento.

Capitolo 1:
L'evoluzione dei modelli di produzione industriale

Introduzione

L'obiettivo del primo capitolo è quello di offrire una disamine dell'evoluzione dei modelli produttivi adoperati per produrre beni durante il corso della storia. È possibile osservare come il progresso tecnologico sia stato uno dei fenomeni che ha influenzato maggiormente l'adozione di un modello piuttosto di un altro. L'affinamento degli strumenti tecnologici ha consentito di automatizzare i processi e ha reso sempre meno necessario l'intervento dell'uomo. La meccanizzazione dei processi è stato uno dei motivi che ha contribuito maggiormente all'affermazione della produzione di massa e ha reso possibile la vendita di grandi quantità di prodotti a prezzi bassi.

Nel management industriale, gli anni ottanta segnano la fine del XX° secolo, un'epoca che ha assistito al dominio dalle grandi aziende manifatturiere americane, indiscusse protagoniste del meccanismo della *mass production* di tipo fordista. Nel corso del tempo tale meccanismo è stato superato da altri modelli produttivi che si sono succeduti soprattutto nei settori più dinamici. Uno tra i più influenti è quello della produzione flessibile che, affermatasi prevalentemente nel XX° secolo, si basa sull'ottimizzazione delle risorse attraverso una gestione correlata dei costi, della qualità e dei tempi e sulla capacità di adattamento in un ambiente mutevole. Il capitolo continua fornendo una definizione di integrazione verticale ed orizzontale e menzionando i diversi sistemi di produzione locale che hanno caratterizzato l'Italia a partire dagli ultimi anni del novecento, quali il dualismo tra il nord ed il sud, il decentramento produttivo e il modello dei distretti industriali.

Gli ultimi paragrafi del capitolo parlano dello stretto legame tra la globalizzazione, con i suoi effetti e le sue dimensioni, e la nascita di internet quale fenomeno mondiale. È stato quindi dedicato spazio ai modelli economici che si sono sviluppati in seguito alla diffusione di internet: l'e-commerce dalla fine degli anni novanta ed il *crowdfunding* in tempi più recenti.

1.1. La *mass production*

Il sistema della produzione di massa si sviluppò in seguito alla Rivoluzione Industriale (1770-1800), nel XIX° secolo. A quel tempo esso presentava tre caratteristiche fondamentali:

- divisione del lavoro;
- ricerca della perfetta sostituibilità delle parti;
- meccanizzazione.

Nonostante la perfetta sostituibilità delle parti non sia stata raggiunta pienamente, questo sistema americano di produzione divenne il simbolo dell'industrializzazione. Nel 1850 esso iniziò ad imporsi come modello dominante di produzione e nel 1890 si stabilì in modo massiccio negli USA.

Il modello europeo di produzione, al contrario di quello statunitense, era principalmente incentrato sulle competenze umane piuttosto che sulla meccanizzazione e sulla sostituibilità delle parti: nel Vecchio Continente era più diffuso l'assemblaggio manuale dei pezzi. Ciò che accadde di fatto fu che le imprese seguaci della mass production si ingrandirono e si trovarono a gestire situazioni sempre più complicate.

Lo *"scientific management"* di Frederik W. Taylor[1] si sviluppò durante gli anni della depressione, quando un eccesso di produzione sottolineò il bisogno di porre maggiore attenzione a questioni come organizzazione, coordinazione e controllo. Questa corrente era incentrata su una sistematica organizzazione del lavoro che rendeva l'intero processo produttivo più semplice da gestire. I principi elaborati da Taylor su cui si basava lo *scientific management* portarono ad una maggiore frammentazione dei compiti, accentuando la differenza tra lavoro fisico ed intellettuale ovvero tra coloro che pensano e coloro che eseguono il lavoro.

1.1.1. Il paradigma della *mass production*

Il paradigma della *mass production* si riferisce all'insieme di valori e di tecniche che caratterizzano la produzione di massa.

1 Frederik W. Taylor (Germantown1856-Filadelfia 1915): ingegnere e imprenditore statunitense considerato uno degli iniziatori della ricerca sui metodi di miglioramento dell'efficienza di produzione. Fondò la teoria dello *scientific management*.

Secondo Claude R. Duguay, Sylvain Landry e Federico Pasin[2]è possibile individuare quattro caratteristiche che accomunano i *"mass producers"*:

1. lo scopo principale è quello di ridurre i costi e aumentare i volumi di produzione (economie di scala). Questo si attua impiegando scorte di magazzino e utilizzando software come MRP/MRP II. Essi considerano il *trade-off* tra qualità, tempi e costi come una necessità;
2. l'innovazione è il metodo più usato per rinnovare il sistema di produzione;
3. la manodopera diretta è destinata ad eseguire compiti sotto la supervisione dei manager;
4. i fornitori sono trattati come degli avversari: vengono messi in competizione gli uni con gli altri in modo che l'impresa ottenga il risultato migliore.

1.1.2. I "maestri" della *mass production*

La Ford Motor Company, con il Model T Ford, è stata la prima a produrre grandi quantità di unità con parti intercambiabili.. Dopo vari tentativi, Henry Ford realizzò una macchina con un prezzo di listino che avrebbe potuto essere abbassato a 400 dollari, la metà di quanto sarebbe costato avere una macchina a quel tempo. La specializzazione dei processi, l'innovativo uso di materiali e l'integrazione verticale resero possibile ridurre i costi di produzione gradualmente, in modo tale da ridurre il prezzo di acquisto del Model T. Un elemento chiave fu senza dubbio la linea di assemblaggio mobile, che divenne il vero e proprio simbolo della *mass production*. Durante gli anni cinquanta, l'andamento industriale statunitense era così apprezzabile che i principali produttori europei e asiatici arrivarono in missione negli USA per studiare i segreti della *mass production*.

Figura 1.1: Model T Ford, USA, ca.1927.
Fonte: www.musclecarclub.com

2 Claude R. Duguay, Sylvain Landry e Federico Pasin: Economisti e Professori dell'*École des Hautes Études Commerciales de Montréal*, Quebec, Canada.

1.1.3. Il declino della produttività

La *mass production* negli USA raggiunse il vertice del prestigio negli anni sessanta.

Alla fine di questo periodo la quota di mercato dei *competitors* stranieri crebbe nei principali settori industriali (acciaio, automobili ed elettronica). Le cause che portarono a tale declino furono parecchie. In particolare, il rallentamento dell'innovazione tecnologica, la mancanza di investimenti, le troppe regolamentazioni, gli aggiustamenti salariali e gli *shock* petroliferi contribuirono in modo massiccio. Alcuni studiosi ritengono che il *top management* non abbia saputo controllare alcuni elementi essenziali della competizione mondiale come il *just-in-time* o i programmi di qualità.

La Commissione MIT[3] (Massachusetts Institute of Technology) individuò sei punti principali di debolezza che determinarono il mancato adattamento delle imprese US al nuovo contesto competitivo:

1. strategie superate: atteggiamenti di chiusura inter- ed intra-aziendale;
2. orizzonti temporali brevi;
3. debolezza tecnologica nello sviluppo e nella produzione:
    - difficoltà di concepire un prodotto semplice ed affidabile che potesse essere realizzato in grandi quantità;
    - poca attenzione alla pianificazione della qualità nella fase di progettazione del prodotto;
    - atteggiamento reattivo anziché proattivo ai problemi;
    - assenza di miglioramenti continui;
4. carente gestione delle risorse umane;
5. fallimento della cooperazione tra clienti e fornitori;
6. disaccordo tra governo e industria.

La globalizzazione dei mercati permise di creare nuove prospettive nel panorama internazionale. A fronte di un declino della produttività delle imprese statunitensi che attuavano la mass production, vennero proposti numerosi nuovi approcci: QWL (*quality of working life*), QC (*quality circles*), MRP II (programmi avanzati per pianificare le risorse e la produzione) etc.

3 MIT: Il Massachusetts Institute of Technology è una delle più importanti università di ricerca al mondo con sede a Cambridge, Massachusetts (Stati Uniti).

Molti di questi progetti ottennero un successo limitato probabilmente a causa dell'incapacità delle imprese di liberarsi dal paradigma della produzione di massa. Alcune aziende però, furono in grado di gestirli efficacemente riuscendo ad adattarli al nuovo ambiente: esse integrarono i progetti coerentemente con tutto il resto e li trasformarono in pilastri dell'eccellenza manifatturiera.

1.2. Teorie per il cambiamento e la ristrutturazione industriale

Nei settori industriali in cui il cambiamento avvenne molto rapidamente, secondo Martin Kenney e Richard Florida[4] la fine della *mass production* può essere fatta corrispondere con la fine degli anni ottanta, quando nuovi modelli di produzione diventano dominanti. Questo passaggio segna l'inizio del XIX° secolo del management industriale.

Un aumento della velocità con cui il progresso tecnologico si succede, formazione e aspirazioni crearono un contesto moderno così dinamico da permettere alle imprese di sfruttare la creatività e l'iniziativa di una quota consistente della loro forza-lavoro e di avere un vantaggio definito su coloro che potevano contare solamente sull'input dei loro esperti e manager. Non potendo utilizzare tale approccio, gli industriali della *mass production* fallirono. Il declino della *mass production* ha dato vita ad una serie di approcci che meglio si adattano al cambiamento rapido dell'ambiente, come la *flexible production*, la *lean production*, la *mass customization* e l'*agile manufacturing*.

Il *lean producer* può essere visto come il *mass producer* che è riuscito a eliminare lo spreco. Il *flexible producer* è in grado di adattarsi all'ambiente molto velocemente, ma non così tanto come l'*agile producer*. Tuttavia, l'agilità non è sempre la migliore soluzione per ogni ambiente.

Oggi prevale l'era della *flexible/agile production*. In settori in cui il cambiamento è diffuso e rapido, le imprese del ventunesimo secolo devono attuare un'organizzazione flessibile per riuscire a sopravvivere e ottenere l'eccellenza manifatturiera.

Shumpeter[5]*,* uno tra i maggiori economisti austriaci del XX° secolo, sostiene che le

4 Martin Kenney e Richard Florida: Kenney è professore del dipartimento di "*Applied Behavioral Science*" all'università della California, Davis. Florida è il direttore del Martin Prosperity Institute e professore di "*Business and Creativity*" al Rotman School of Management dell'Università di Toronto.

5 Joseph Alois Schumpeter (Třešť, 1883 – Taconic, 1950): è uno dei maggiori economisti del XX° sec.

attività economiche sono un processo fortemente dinamico, nel quale l'imprenditore svolge un ruolo primario all'interno dell'azienda. Secondo l'autore, l'innovazione, l'evoluzione dei gusti dei consumatori e la crescita demografica sono il motore dello sviluppo economico. Gli imprenditori realizzano l'innovazione distruggendo le vecchie modalità e favorendo la crescita del sistema. Essi mettono a punto nuovi prodotti o predispongono una nuova organizzazione tecnica ed economica della produzione.

1.2.1 *Long-Wave Theories*

Le Long-Wave Theories si svilupparono quasi contemporaneamente alle teorie di Marx e Shumpeter. Tale prospettiva sostiene che il capitalismo può essere suddiviso in una serie di periodi storici che differiscono sulla base di condizioni tecnologiche, forme organizzative e così via.

Gli esponenti della Scuola SPRU[6], tra i quali Christopher Freeman e Carlota Perez[7], sottolineano la relazione tra tecnologia e struttura sociale. Questi autori suggeriscono che l'organizzazione economica-tecnologica attuale è il risultato del declino e del cambiamento delle forme istituzionali e organizzative esistenti, dato che sono tutte finalizzate a supportare le nuove tecnologie.

1.2.2. Post-industrialismo

Già negli anni sessanta alcuni sociologi statunitensi, europei e giapponesi sostennero che gli Stati Uniti stavano passando da una società industriale a una basata sull'informazione postindustriale e sulle industrie di servizi. Secondo tale visione, il capitalismo stava evolvendo verso un sistema impiegatizio postindustriale nel quale la manifattura veniva sostituita dall'automazione. Esponenti di queste teorie erano autori come Fred Block e Harry Hirschhorn[8].

Il post-industrialismo presenta però dei punti di debolezza. Per esempio, non esiste una

6 Scuola SPRU: La Science and Technology Policy Research è il dipartimento di scienze e tecnologia dell'Università di Sussex, contea dell'Inghilterra meridionale, Regno Unito.

7 Christopher Freeman (1921-2010) e Carlota Perez: Freeman è stato un economista inglese, fondatore e direttore della SPRU, ha contribuito alla rinascita della tradizione neo-Shumpteriana. Carlota Perez è una neo-Shumpteriana e studente di Freeman esperta in tecnologia e sviluppo socio-economico.

8 Fred Block e Harry Hirschhorn: Block è uno dei maggiori sociologi di politica ed economia mondiale, prof. all'Università della California, Davis. Hirschhorn fece parte del MIT ed è professore alla facoltà affiliata di “Organizationals Dynamics” all'Università della Pennsylvania.

definizione comprovata di cosa s'intenda esattamente con il termine “servizio”.
Secondo i post-industrialisti solo il lavoro fisico svolto nelle industrie tradizionali si può qualificare come attività industriale. Ricerche recenti hanno dimostrato che l'automazione computerizzata ha più successo in ambienti in cui i lavoratori sono integrati nel processo produttivo e nel quale l'apprendimento è frequente.
I post-industrialisti sostengono che l'attività intellettuale diventerà sempre più importante, ma ritengono anche, in maniera erronea, che la produzione industriale scomparirà.

1.2.3. Regulation Theory

La Regulation Theory si sviluppa in Francia negli anni '70 come risposta alle limitazioni imposte dalle teorie di Marx. I concetti fondamentali su cui si basava questa teoria erano: “regime di accumulo”, riferito all'organizzazione della domanda nonché della produzione, “modalità di crescita” con la quale si collega il regime di accumulo alla divisione internazionale del lavoro, e “modalità di regolazione” che indica il quadro nazionale, internazionale, istituzionale e ideologico che facilita la riproduzione di particolari regimi di accumulo o modalità di crescita.
Gli appartenenti alla scuola della Regulation Theory si focalizzano su relazioni tra la base tecnologica di produzione e consumo, “regime di accumulo”, e le istituzioni sociali, “modalità di regolazione”.

1.2.4. Specializzazione flessibile

La specializzazione flessibile fu inizialmente proposta dagli economisti italiani Becattini e Brusco[9], e più tardi portata negli Stati Uniti da Michael Piore e Charles Sable[10]. Piore e Sable sostengono che ci sia tensione tra i due modelli di base dell'organizzazione produttiva: *mass production* e *craft production*. Nel modello di sviluppo da loro sostenuto, le lotte tra i diversi gruppi politici determina quale di queste forme predomina in una data epoca storica. Sulla base di questo quadro teorico

9 Giacomo Becattini e Sebastiano Brusco: Becattini, emerito economista italiano è professore all'Università di Firenze, è stato presidente della Società Italiana degli Economisti. Brusco è stato uno dei fondatori della Facoltà di Economi all'Università di Modena.
10 Michael Piore e Charles Sable: Piore è un economista americano e professore al MIT. Sables è un professore accademico di diritto e scienze sociali alla Columbia Law School.

generale, essi sostengono che il secolo passato o della storia industriale ha visto l'ascesa politica dell'organizzazione della *mass production* sulla *craft production*. Il periodo di declino della *mass production* però, ha lasciato spazio ad un'era rinnovata di indeterminazione e scelta, nella quale una nuova forma di *craft production* o specializzazione flessibile diventa politicamente possibile. Il modello ideale e tipico di specializzazione flessibile è la fitta rete di imprese del nord Italia, caratterizzate da un alto grado di cooperazione e condivisione della conoscenza, di sviluppo congiunto e di coinvolgimento nella produzione. Questi nuovi sistemi di produzione sono già presenti in molti paesi industriali avanzati nei quali si sperimentano reti cooperative di piccole imprese industriali.

1.3. La nascita di un nuovo paradigma: *flexible/agile production*

Fin da sempre le aziende di successo hanno cercato di controllare il cambiamento, di ottenere protezione o di isolarsi da esso. Oggi si adattano interagendo rapidamente con il nuovo ambiente. La flessibilità/agilità è la caratteristica distintiva per riuscire ad adattarsi rapidamente ed efficacemente.

La flessibilità è la capacità di impiegare o reimpiegare le risorse efficacemente, come richiesto dai cambiamenti ambientali. La flessibilità è quindi uno dei requisiti fondamentali di ogni processo produttivo e si traduce con la tempistica, la qualità e i costi dei processi stessi. Ci sono diversi tipi di flessibilità che corrispondono ai vari tipi di cambiamento. Le principali fonti di cambiamento sono la domanda (che varia a seconda della natura dei prodotti e richiede dunque la flessibilità dei prodotti stessi) e la tecnologia.

Un'organizzazione flessibile deve riuscire ad adattarsi non solo ai cambiamenti della domanda ma anche all'ambiente in cui opera. Il concetto di flessibilità/ agilità va oltre il significato che gli abbiamo attribuito finora. F/a implica l'abilità di adattarsi rapidamente e con costante coordinazione in un ambiente di rapido cambiamento.

É importante mettere in relazione il paradigma industriale della F/A production con altri due concetti che si trovano nella letteratura: *lean production* e *mass customization*. Ciascuno di questi due concetti comprende molte ma non tutte le caratteristiche dei produttori flessibili.

La *lean production* è un modo efficiente di ridurre i costi per unità e migliorare drasticamente la qualità. Nel frattempo fornisce una gamma sempre più ampia di prodotti e un modo di lavorare impegnativo e soddisfacente. La *lean production* ha come obiettivo l'utilizzo di risorse minime, per esempio attraverso una sistematica eliminazione dello spreco, così come avviene con la tecnica del *just-in-time*. In un ambiente stabile colui che si avvale della *lean production* progredirà più velocemente rispetto ai concorrenti perché non vi è la necessità di adattarsi.

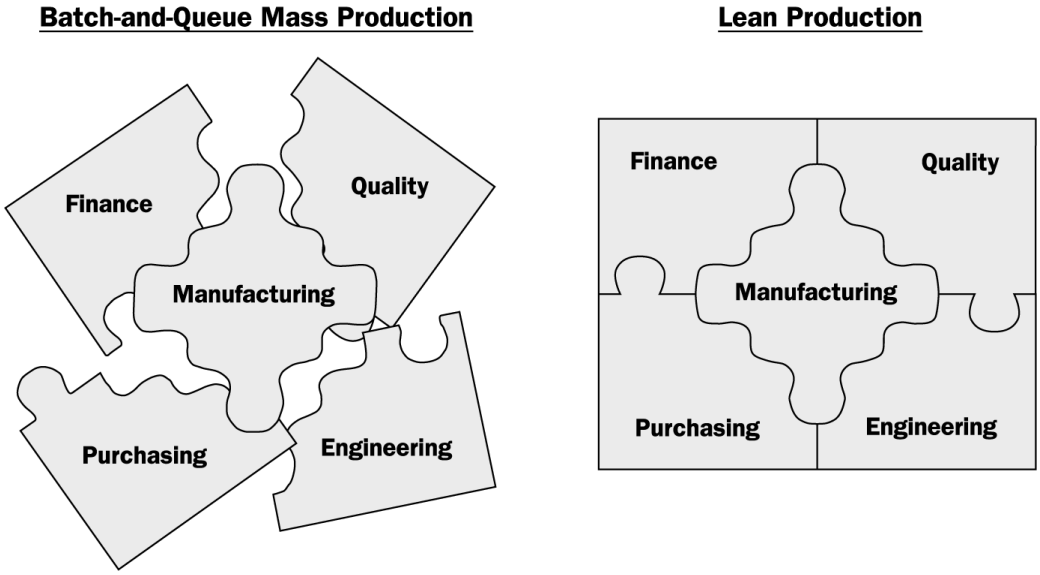


Figura 1.2: Confronto tra l'ambiente non coordinato della *Mass Production* e l'efficienza della *Lean Production*. Fonte: www.emeraldinsight.com.

La *mass customization* invece, pone l'accento sull'adattamento efficiente dei prodotti ad un'ampia domanda. Come dimostrato da Davis[11] nel 1987, la *mass customization* è applicata più frequentemente all'output del processo produttivo. Più specificatamente, Pine[12] definisce la *mass customization* come una crescita smisurata di varietà e personalizzazione senza una corrispondente crescita dei costi. La Commissione MIT l'ha chiamata anche produzione flessibile totale.

La produzione flessibile/agile può essere ideale per orientare gli sforzi volti al

11 Mike Davis: è uno scrittore amercano, attivista politico e storico famoso per gli studi condotti sul potere e sulle classi sociali nel sud della California.

12 B. Joseph Pine: è un autore americano di libri che trattano di economia e società.

miglioramento continuo e all'eliminazione degli sprechi.

Secondo la Commissione MIT, le caratteristiche che un'impresa deve possedere per poter attuare la F/A production sono le seguenti:

1. miglioramento continuo di tre criteri di performance interfunzionali: qualità, costi e tempistica;
2. attenzione per il consumatore;
3. collaborazioni strette con i fornitori: riduzione del loro numero, miglioramento della qualità e dei tempi di consegna, partecipazione nella progettazione del prodotto ecc.;
4. utilizzo della tecnologia come vantaggio strategico;
5. strutture organizzative più flessibili, non separate rigidamente;
6. politiche di gestione delle risorse umane innovative: formazione continua, lavoro di squadra, partecipazione e flessibilità.

1.3.1. Il paradigma della produzione flessibile

Il paradigma della produzione flessibile è costituito dall'insieme dei principi di base delle imprese di successo che hanno integrato *lean production* e *mass customization* nella loro crescita a livello mondiale.

Secondo Duguay, Landry e Pasin è possibile riassumere il paradigma della produzione flessibile con i seguenti otto punti:

1. Obiettivo primario: miglioramento di qualità, tempistica e costi. Come osservato, i miglioramenti qualitativi comportano una diminuzione dei costi; il JIT ha inoltre mostrato che consegne più tempestive possono migliorare costi e qualità. Progettare la produzione dei prodotti è una strategia basata sul calcolo della tempistica, che ha dimostrato avere un impatto significativamente positivo.
2. Orientamento principale: si cerca la soddisfazione dei clienti attraverso una maggiore percezione del valore del prodotto e controllando i processi per avere maggiore qualità fin dall'inizio.
3. Metodi di miglioramento utilizzati: miglioramenti continui nelle fasi di innovazione. La flessibilità/agilità è focalizzata fondamentalmente ad introdurre l'innovazione più velocemente possibile; in ogni caso, miglioramenti costanti

sono il prerequisito per l'agilità oltre che una condizione per l'introduzione rapida e di successo delle innovazioni.

4. Forza-lavoro: a livello operativo, i lavoratori hanno la possibilità di migliorare professionalmente operando in vari tipi di *team*, inclusi i gruppi organizzati e diretti indipendentemente. La distinzione tra coloro che pensano e coloro che eseguono non sussiste: sia gli *operation worker* sia i *knowledge worker* operano in *team* che fanno parte di *network* centrati su processi organizzativi. I manager e lo staff aiutano i lavoratori oltre che gli esperti o gli educatori. Sono richieste notevoli competenze e capacità.
5. Fornitori: sono scelti accuratamente al fine di intraprendere una relazione di lungo termine. Sono trattati come partner al fine di accrescere la competitività attraverso la cooperazione. Le operazioni sono strettamente integrate attraverso la gestione della catena di fornitura, usando EDI[13] per ottenere risposte veloci e rifornimenti continui.
6. L'organizzazione: può essere rappresentata figurativamente come un organismo vivente piuttosto che come una macchina, secondo quanto accade nelle organizzazioni meccanicistiche. Le competenze che non fanno parte del *core* dell'azienda devono essere acquisite attraverso alleanze, creando organizzazioni virtuali che offrono una flessibilità/agilità maggiore, necessaria per far fronte al rapido cambiamento.
7. Tecnologia: le scelte tecnologiche sono legate alla strategia aziendale e strettamente coordinate con i cambiamenti organizzativi per permettere alla forza-lavoro di adattarsi alle fluttuazioni della produzione e ad altri processi. Inoltre, bisogna stabilire una durata limitata per alleanze con altre imprese basate su competenze tecnologiche. In questo modo il produttore può evitare la disaggregazione che minaccia i produttori integrati. Questa complessa ragnatela può essere gestita efficacemente grazie a mezzi tecnologici avanzati.
8. Valutazione delle performance: ha lo scopo di sostenere il miglioramento e l'innovazione, i problemi e le innovazioni sono percepiti come opportunità. Oltre ai dati finanziari, anche altri indicatori quantitativi sono usati come metodi di

13 EDI: Electronic Data Interchange. Fa riferimento all'interscambio di dati tra sistemi informativi attraverso un canale e in un formato dedicato per minimizzare l'intervento dell'uomo.

valutazione ai vari livelli organizzativi, con gli adattamenti richiesti dai vari dipartimenti che li utilizzano.

1.3.2. Confronto tra i paradigmi

1. Orientamento primario: nella *mass production* le persone seguono piani e procedure precise e definite, i manager sono coinvolti nella maggior parte delle decisioni e richiedono analisi dettagliate. Con la produzione flessibile invece, i manager stabiliscono obiettivi per il personale e solo alcune volte sono direttamente coinvolti nelle operazioni, lasciando tale responsabilità ai lavoratori diretti.
2. Metodi di miglioramento utilizzati: con la *mass production* l'innovazione ha preso vita sotto forma di larghi progetti, concepiti e diretti da manager esperti. Nella produzione flessibile invece, i manager hanno il compito di apportare miglioramenti continui ai processi produttivi, che sono gli obiettivi principali di ogni gruppo di lavoro.
3. Forza-lavoro: con la *mass production* la forza-lavoro diretta è destinata a svolgere compiti di produzione sotto la direzione dei manager; i lavoratori sono prevalentemente non qualificati e sottopagati. Nella produzione flessibile, i lavoratori assumono delle responsabilità che vanno ben oltre i semplici compiti di produzione; essi vengono pagati in base alla loro qualifica.
4. Fornitori: la *mass production* cerca di innescare competizione tra i fornitori in modo tale da ottenere le migliori condizioni possibili in ogni transazione. La produzione flessibile mantiene un limitato numero di fornitori per offrire loro una relazione di lungo termine con l'azienda.

1.4 Integrazione verticale ed orizzontale

Dopo quanto è stato detto sull'evoluzione dei modelli di produzione nel corso degli anni è opportuno parlare dell'integrazione orizzontale e verticale delle imprese.

L'**integrazione verticale** è una strategia di sviluppo dell'impresa (generalmente di grandi dimensioni) che cerca espandere la propria attività nelle fasi del ciclo operativo che precedono o seguono quelle svolte dall'impresa. Si dice “integrazione a monte”

quando si cerca di acquisire il controllo sugli input, ovvero delle imprese che forniscono le materie prime; si dice “integrazione a valle” quando ci si riferisce ad imprese che acquistano gli output. Ad esempio, un calzaturificio esegue un integrazione a monte se acquista il laboratorio di conceria delle pelli mentre fa un'integrazione a valle se apre una rete di negozi al dettaglio.

Per valutare la convenienza di un'impresa nel realizzare un'integrazione di tipo verticale piuttosto che il ricorso al mercato esterno, è opportuno verificare costi e benefici. Se i costi per lo svolgimento di un'attività lungo la catena dell'impresa sono inferiori ai costi che si sosterrebbero affidando l'attività a terzi, allora l'integrazione verticale conviene. In questo caso ci sono benefici derivanti dalle economie di scala e vi è uno stimolo maggiore per l'innovazione e l'efficienza. Si possono avere costi per il coordinamento e la compatibilità delle risorse. Nella *Tabella 1.1* sono riassunti i lati positivi e negativi del ricorso all'integrazione verticale.

Vantaggi	Svantaggi
1. costi minori grazie alle economie di scala; 2. efficace coordinamento e programmazione; 3. riduzione dei tempi; 4. integrazione delle politiche dei fornitori e dell'impresa; 5. maggiore opportunità di differenziare i prodotti; 6. maggiore capacità di controllare l'ambiente competitivo; 7. migliore programmazione e coordinamento; 8. riduzione dei rischi degli investimenti in impianti specializzati; 9. possibilità di internazionalizzazione dei mercati.	1. costi fissi di manutenzione; 2. processi obsoleti ripetuti; 3. perdita di informazioni da fornitori e distributori; 4. poca mobilità tra settori del mercato.

Tabella 1.1: Vantaggi e svantaggi dell'integrazione verticale. Fonte: www.econ.uniurb.it.

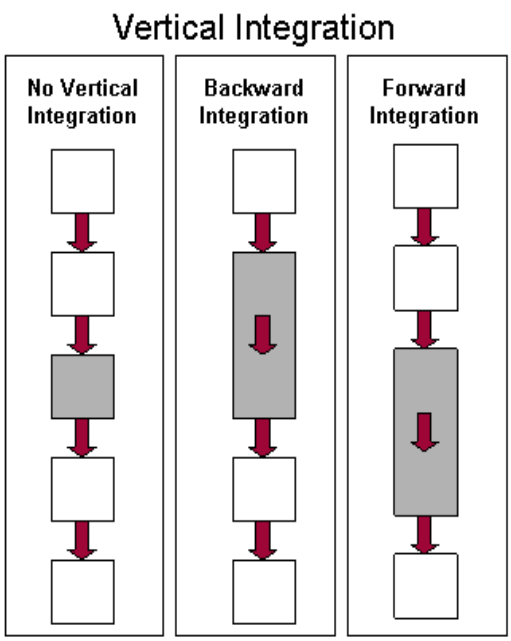


Figura 1.3: Integrazione verticale. Da sin.: nessuna integrazione verticale, integrazione a monte, integrazione a valle. Fonte: www.12manage.com.

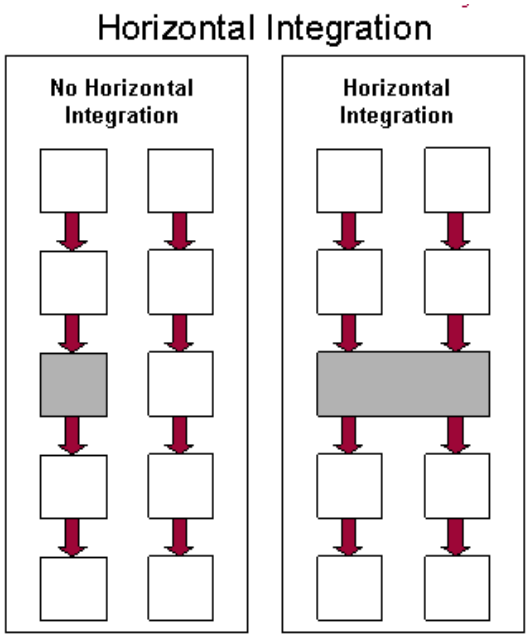


Figura 1.4: Integrazione orizzontale. Da sin: nessuna integrazione orizzontale, integrazione orizzontale. Fonte: www.12manage.com.

L'**integrazione orizzontale** è una strategia che caratterizza le imprese che sono allo stesso punto del ciclo operativo, che commercializzano prodotti con caratteristiche simili o che collaborano tra loro.

Vantaggi	Svantaggi
1. allargamento della quota di mercato; 2. sfruttamento delle economie di scala; 3. maggiore competenza data dall'unione delle conoscenze delle singole imprese; 4. espansione territoriale; 5. specializzazione e coordinamento tra le linee di prodotti.	1. alcuni prodotti possono contendersi lo stesso mercato; 2. concentrazione delle imprese come minaccia alla libera concorrenza.

Tabella 1.2: Vantaggi e svantaggi dell'integrazione orizzontale. Fonte: www.econ.uniurb.it.

Tra l'integrazione verticale e l'integrazione orizzontale sussistono delle forme organizzative intermedie.

L'**integrazione parziale** si verifica quando l'impresa svolge una parte di attività all'interno e una parte la delega a terzi. La forma più conosciuta e praticata di integrazione parziale è senza dubbio l'outsourcing. Molte imprese utilizzano questo metodo per abbassare i costi facendo svolgere le attività produttive, un tempo svolte nel paese domestico, in un paese estero in cui costa meno. Tra i vantaggi dell'integrazione parziale vi è un aumento dei volumi di input o di output, conoscenza specifica dei processi produttivi, minore rischio e costi inferiori. Tra i punti di debolezza includiamo la difficoltà a realizzare economie di scala e il rischio di avere problemi di coordinamento tra i soggetti.

L'**alleanza strategica** è un accordo stipulato da due o più imprese per attuare una cooperazione di lungo termine. La forma più conosciuta di alleanza strategica è la joint venture: due o più imprese conferiscono capitale per la costituzione di una nuova società indipendente di cui controllano la gestione.

Le relazioni tra le imprese possono assumere un carattere più o meno formale. Nel caso di relazioni contrattuali formali l'impresa ottiene i vantaggi dell'integrazione verticale senza supportare costi di organizzazione. I vantaggi derivanti dall'incertezza di rinnovare il contratto inducono i fornitori a tenere prezzi più bassi ma allo stesso tempo, in modo negativo, li scoraggiano ad investire in attività specializzate.

Inoltre, l'impresa intrattiene una vasta quantità di relazioni informali con soggetti quali i subfornitori, che solitamente svolgono le attività più critiche e intrattengono relazioni di lungo termine con l'impresa.

1.5. I sistemi locali di produzione

Le teorie neoclassiche non considerano il luogo di produzione come elemento importante nelle scelte effettuate dal management. Secondo i neoclassici, l'unico aspetto significativo nel considerare la collocazione della propria impresa è il costo di trasporto associato alla distanza geografica tra il luogo di produzione ed il luogo di approvvigionamento delle materie prime e il costo relativo alla distanza tra il luogo di produzione e il mercato di vendita. Neanche l'aspetto storico-territoriale è considerato dai neoclassici, i quali danno importanza a caratteristiche prettamente economiche come la quantità venduta ed il prezzo di un certo prodotto.

Gli economisti identificano quattro tipi di capitalismo, ognuno appartenente ad un'epoca storica differente. La prima grande stagione del capitalismo fiorisce con la seconda rivoluzione industriale, alla fine dell'ottocento, quando si affermano le grandi industrie statunitensi come l'impresa automobilistica di Henri Ford. Anche in Italia si sviluppano imprese di grandi dimensioni, come testimonia il caso Fiat. Il secondo tipo di capitalismo è quello dei grandi campioni pubblici, delle *holdings*, come dimostrano IRI ed ENI. In questo periodo il triangolo Milano-Torino-Genova è un esempio virtuoso di efficienza ma, già a partire dagli anni '70 perde splendore a favore di altre tre città industrialmente attive, Venezia, Milano e Ancona.

La terza grande stagione del capitalismo è rappresentata dai sistemi locali di produzione. Il Made in Italy diventa sempre più importante nella valutazione della qualità dei prodotti. I sistemi locali di produzione, al contrario della teoria neoclassica, non si concentrano solamente sui prezzi, sui costi e sulle quantità vendute ma privilegiano anche aspetti quali la collocazione spaziale dell'industria, le strategie delle imprese e le caratteristiche storico-sociali. Non ci si basa più sull'integrazione verticale bensì su una nuova rete di imprese capace di attivarsi per rispondere alle esigenze del cliente. Questo nuovo modello di sviluppo permette di legare il management delle imprese con la rete sociale locale, attivando così i territori in cui l'industria è insediata. Quando si parla di caratteristiche socio-territoriali e culturali di un certo territorio si identificano gli aspetti storici, socio-culturali, antropologici e politici della popolazione che vive in una certa zona geografica, delle imprese attive nella zona e del rapporto tra imprese, popolazione e istituzioni. Pertanto, quando ci si riferisce ai sistemi di produzione locali non si deve pensare solamente ad un sistema produttivo ma ad un sistema sociale che coinvolge il management dell'impresa e i suoi dipendenti, la popolazione locale (la quale risente indirettamente degli effetti delle decisioni prese dall'industria presente sul territorio), gli amministratori e i politici locali e il governo centrale per l'attività di coordinamento nei territori locali.

I sistemi di produzione locale non si identificano come un modello organizzativo e produttivo particolare o con una certa specializzazione produttiva: esistono sistemi locali formati da piccole e medie imprese integrate verticalmente o orizzontalmente o specializzati negli ambiti più disparati, dalla cura della persona all'alta tecnologia.

Lo sviluppo locale si può definire come l'abilità dei soggetti locali di elaborare e sviluppare progetti per la valorizzazione economico-sociale del territorio mobilitando le competenze locali e attraendo competenze dall'esterno. L'obiettivo primario è quello di produrre i cosiddetti beni pubblici locali. Questi beni vengono prodotti solamente in una particolare zona geografica perché le grandi imprese non hanno convenienza a fabbricarli, per mancanza di competenze o perché la quantità prodotta non consentirebbe loro di ammortizzare i costi da cui dipende la competitività. I sistemi di produzione locale si possono quindi identificare come una serie di strutture ed infrastrutture che fungono da supporto alle imprese oltre che alla popolazione locale: si parla di servizi finanziari, professionali, comunicativi, legali e così via.
In particolare, si identificano tre modelli di sviluppo locale:

1. il modello dello sviluppo duale nord-sud;
2. il modello della subfornitura e del decentramento produttivo;
3. il modello dei distretti industriali.

1.5.1 Il modello dello sviluppo duale nord-sud

Risalente agli anni '50 e ai primi anni '60 del novecento, questo modello vede la distinta contrapposizione tra nord e sud Italia. Nella tabella proposta qui sotto vengono elencate le principali differenze tra settentrione e meridione.

Elementi considerati	Nord	Sud
Dimensione imprese	medio-grande	piccola, imprese artigianali
Caratteristiche imprese	alta intensità di capitale, metodi di produzione innovativi e tecnologici	alta intensità di lavoro, metodi tradizionali a bassa tecnologia
Risorse Umane	manodopera specializzata, sindacalizzata con alti salari	manodopera a bassa produttività con bassi salari
Internazionalizzazione	mercato aperto, stimolo all'investimento	mercato locale protetto, concorrenza con imprese del nord

Tabella 1.3: Descrizione degli elementi che caratterizzavano il nord e il sud Italia. Fonte: Materiale didattico, Prof. Garlato, Università Ca' Foscari, Venezia.

Nonostante l'esistenza di numerose differenze, gli economisti concordano nel dire che i beni prodotti dalle imprese del settentrione e del meridione erano gli stessi.
Gli studiosi del tempo avevano opinioni differenti circa le possibili soluzioni per superare il dualismo: alcuni proponevano di ridurre i salari al nord, altri ritenevano giusto sviluppare l'impresa pubblica per risollevare il sud.

1.5.2 Il modello della sub-fornitura e del decentramento produttivo

Questo modello si sviluppa alla fine degli anni '60. In questo periodo, alle imprese si affiancano soggetti esterni che prendono decisioni e si assumono responsabilità nel processo di produzione. Vi è una diminuita integrazione verticale delle imprese.
I tipi di decentramento produttivo sono tre:

1. Il decentramento produttivo di specialità sostanziale si verifica quando la grande impresa scompone le fasi del processo produttivo ed esternalizza alcune parti del processo stesso per avere un minor rischio sugli investimenti. La scomposizione delle fasi è possibile grazie alla specializzazione di ciascuna fase produttiva, conseguente ad un maggiore sviluppo della tecnologia. Generalmente, questo tipo di decentramento può essere dovuto a specializzazione della tecnologia, crescita della domanda e ristrutturazione del sistema produttivo. Un esempio è la filiera di produzione del mobile.
2. Il decentramento produttivo di specialità non sostanziale si differenzia dal precedente per le ragioni che conducono le imprese a decentralizzare. Si ha un processo di esternalizzazione quando la grande impresa vuole rivedere la propria struttura a causa di un calo della domanda oppure quando s'intende modificare la struttura di governo delle relazioni industriali a favore di un sistema più semplice da gestire, come nelle piccole medie imprese. Il decentramento di specialità non sostanziale è tipico delle imprese a basso contenuto tecnologico.
3. Il decentramento produttivo di capacità non prevede l'esternalizzazione delle fasi del processo produttivo bensì della produzione dei beni che l'impresa produce. In tal modo, l'impresa non corre rischi dovuti all'instabilità della domanda o alla discontinuità tecnologica.

1.5.3. Il modello dei distretti industriali

Il modello dei distretti industriali è strettamente legato a quello delle economie esterne. Queste ultime si concretizzano nei vantaggi che le imprese possono ottenere grazie alla vicinanza con altre imprese.

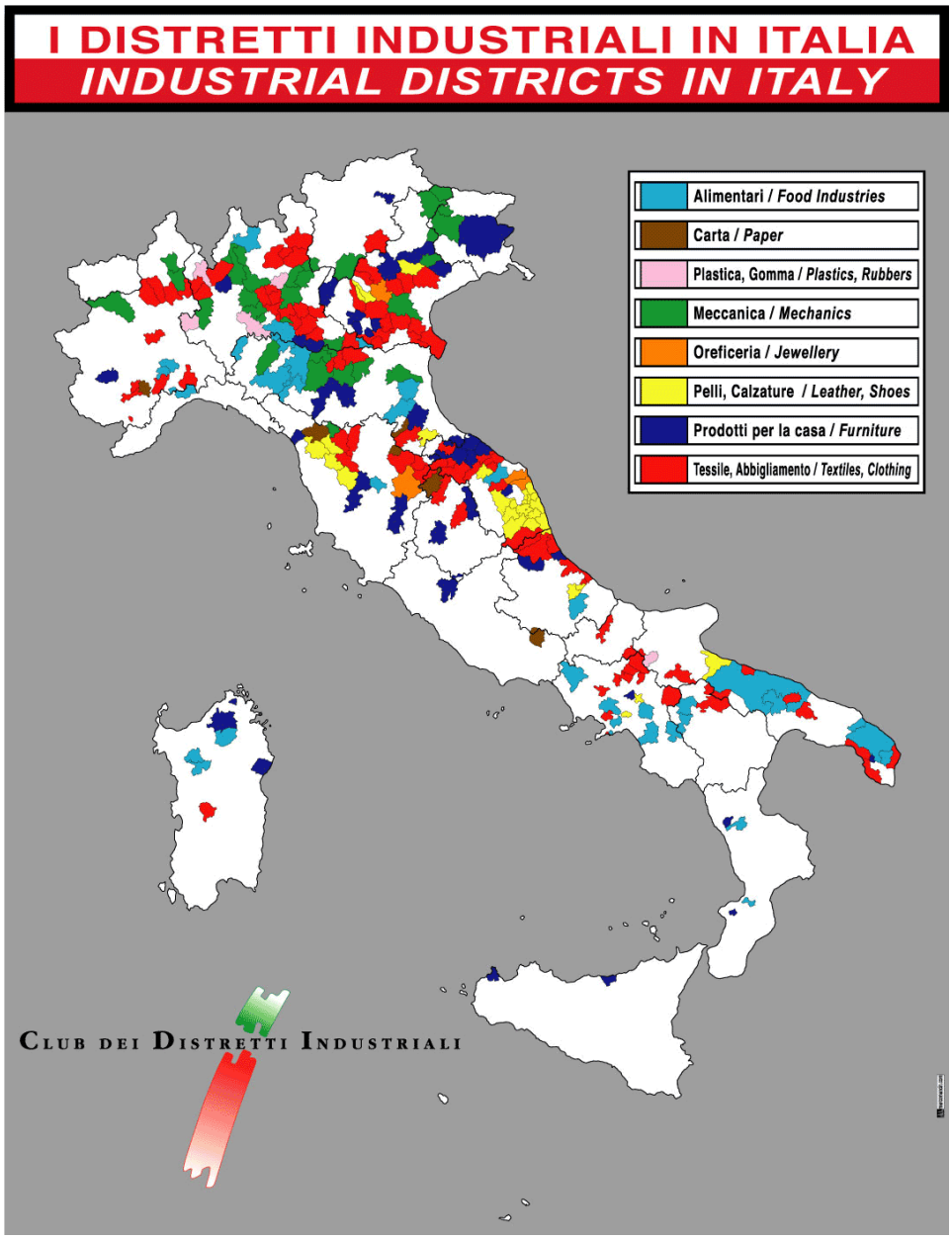

I DISTRETTI INDUSTRIALI IN ITALIA
INDUSTRIAL DISTRICTS IN ITALY
Alimentari / Food Industries
Carta / Paper
Plastica, Gomma / Plastics, Rubbers
Meccanica / Mechanics
Oreficeria / Jewellery
Pelli, Calzature / Leather, Shoes
Prodotti per la casa / Furniture
Tessile, Abbigliamento / Textiles, Clothing
CLUB DEI DISTRETTI INDUSTRIALI

Figura 1.5: Mappa dei distretti industriali italiani. Fonte: www.bn.camcom.it.

L'economia creata dalla concentrazione di un gruppo di imprese in una certa zona geografica, come nel caso dei distretti, può essere paragonata a quella della grande

impresa. I vantaggi che si possono trarre vanno ben oltre la situazione puramente economica dato che si verifica uno scambio di conoscenze e di capacità reciproche, un avvicinamento ed una collaborazione con i governi locali nonché una valorizzazione del territorio stesso.

I primi distretti a nascere sono stati quelli inglesi di Sheffield (distretto dell'acciaio), di Leeds (distretto della lana) e di Manchester (distretto del cotone). I distretti italiani nascono tra la fine degli anni '70 e l'inizio degli anni '80 e vengono definiti dal legislatore italiano come: *"Aree territoriali locali caratterizzate da elevata concentrazione di piccole imprese, con particolare riferimento al rapporto tra la presenza delle imprese e la popolazione residente, nonché alla specializzazione produttiva dell'insieme delle imprese"*[14]. Altri studiosi hanno definito i distretti come "comunità di persone e popolazione di aziende industriali" oppure "ambiente in cui le imprese e le persone tendono ad interpenetrarsi a vicenda".

A seconda del periodo storico in cui sono fioriti, i distretti si distinguono in distretti di prima e di seconda generazione. Il **modello di prima generazione** si sviluppa verso la fine degli anni '70 e presenta alcune caratteristiche principali:

1. le istituzioni locali non partecipano allo sviluppo del distretto, si parla di sviluppo autonomo. Questa è la caratteristica principale che distingue i due modelli di distretti;
2. vi è un gran numero di piccole imprese che producono beni appartenenti ad una specializzazione settoriale (es. settore tessile). Ciascuna di queste imprese si occupa di una fase del processo produttivo verticalmente integrato (es. cucitura, lavorazione a maglia) e sebbene possano far parte di industrie diverse, appartengono alla stessa filiera di produzione (es. imprese che producono bottoni vengono incluse nel settore tessile anche se appartengono all'industria chimica);
3. relazioni di cooperazione (tra imprese che svolgono fasi diverse di un processo) e di competizione tra imprese (nelle attività di marketing e di vendita);
4. condivisione di valori comuni, senso di appartenenza al territorio, etica del lavoro e della famiglia. In Emilia Romagna, per esempio, le imprese sono

14 Legge nazionale n.317 del 5 ottobre 1991: primo tentativo di disciplinare i distretti industriali in maniera uniforme su tutto il territorio italiano.

influenzate dal cosiddetto governo rosso, in Veneto dal governo bianco;

5. il rapporto esistente tra le imprese è intenso, la sanzione sociale è più temuta di quella giuridica;
6. le imprese possono rinnovare continuamente la loro gamma di conoscenze grazie alla vicinanza con le altre imprese e quindi grazie ad un contesto stimolante per il miglioramento e la condivisione di idee e di proposte;
7. la qualità del lavoro è più elevata grazie a maggiore attenzione e autonomia per il lavoratore e condizioni più flessibili per le donne;
8. si registra un livello di mobilità del lavoro elevato dato che i cambiamenti di status dei lavoratori sono frequenti;
9. alcuni studi hanno dimostrato che la qualità della vita, dei servizi sociali offerti agli abitanti e delle attività culturali sono più elevati nei distretti piuttosto che nelle aree in cui si ha produzione di massa.

I distretti di prima generazione più noti sono:

- Distretto tessile di Carpi, Prato e Biella;
- Distretto del mobile in Brianza e in Veneto;
- Distretto delle calzature a Vigevano e nella riviera del Brenta.

Il **modello di seconda generazione** si diffonde a partire dai primi anni '80 come risposta alla globalizzazione dei mercati e allo sviluppo tecnologico. Si pensava che la globalizzazione e l'avanzamento della tecnologia avrebbe soffocato le piccole imprese che non avessero avuto le competenze, le conoscenze ed i capitali necessari per spingersi oltre i confini nazionali o per acquistare risorse tecnologiche all'avanguardia. Al contrario dei distretti di prima generazione, l'elemento caratterizzante i distretti di seconda generazione è il coinvolgimento e il sostegno delle istituzioni nell'attività d'impresa. Le istituzioni svolgono per le aziende un insieme di servizi per cui le imprese sono inadeguate: si tratta di servizi reali come assistenza contrattuale o monitoraggio dei mercati.

1.6. L'avvento della globalizzazione

L'evoluzione dell'impresa contemporanea avviene all'interno di un contesto profondamente influenzato dalla globalizzazione. In passato, l'apertura internazionale dei mercati era vista come un fenomeno negativo e ambiguo, la popolazione carpiva difficilmente la sua portata e gli effetti erano ancora oscuri. Oggi permangono dubbi e perplessità sul fenomeno ma la diffusione è pervasiva.

La globalizzazione è molto più che una manifestazione puramente economica: oltre a rappresentare l'integrazione economica nel mondo attraverso flussi commerciali e finanziari, è il risultato di un percorso storico-territoriale, culturale, di avanzamento della tecnologia e dell'innovazione umana. La globalizzazione ha favorito la circolazione delle persone, delle risorse fisiche e delle competenze oltre i confini nazionali e ha permesso la dispersione dei centri di generazione della conoscenza.

Con l'avvento della globalizzazione e l'apertura dei mercati nazionali molti sistemi locali di produzione vedono minacciate le loro economie a favore delle grandi multinazionali e delle imprese straniere in grado di produrre gli stessi beni o beni di qualità poco inferiore ad un prezzo più basso.

La diffusione della globalizzazione ha origine molto più antiche di quanto possa sembrare. Alcuni studiosi sostengono che si possa far risalire al quattrocento quando, Enrico Il Navigatore, figlio del re del Portogallo, fondò a Sangres una scuola in cui disegnavano carte geografiche mondiali. Purtroppo, il Portogallo non riuscì mai ad emergere come paese dominante a causa di una scarsa attitudine nel controllare le proprie risorse finanziarie. Il percorso seguito dalla globalizzazione è stato graduale e determinato da una serie di eventi verificatesi a partire dagli anni '80 del novecento. Tra il 1984 e il 1985 alcuni apparecchi tecnologici, come il computer, iniziano a diffondersi in modo massiccio tra la popolazione e, nel 1990, si verifica un evento che segna la storia del mondo: la nascita di Internet, la più grande infrastruttura comunicativa ancora esistente. Pochi anni dopo, nel 1994, ci fu la diffusione della rete commerciale.

Un grande impulso alla liberalizzazione dell'economia ci fu con la caduta del muro di Berlino nel 1989, con la possibilità di accedere al mercato cinese e con il progressivo disimpegno dello stato nella partecipazione all'attività economica nazionale.

Secondo Matteo Caroli, è possibile riassumere i principali fattori che hanno contribuito

a scatenare la globalizzazione in quattro punti:

1. evoluzione delle tecnologie dell'innovazione e della comunicazione: l'ICT è alla base delle attività produttive delle aziende;
2. cambiamento degli assetti geopolitici mondiali: l'entrata della Cina nel *Wto* e la costituzione di accordi come NAFTA e ASEAN[15] hanno avuto effetti determinanti;
3. aumento dei flussi diretti esteri da parte delle aziende e crescita economica di paesi economicamente marginali: rilievo industriale-economico per i paesi del BRIC[16] (Brasile, Russia, India, Cina);
4. convergenza dei modelli culturali e comportamentali delle persone: sia nei grandi mercati sia in quelli di nicchia le persone sono sottoposte a stimoli molto simili e tendono ad avere esigenze e comportamenti analoghi.

1.7. I modelli economici di nuova generazione

La pervasività della globalizzazione e l'evoluzione di Internet sono fenomeni strettamente connessi tra loro: la globalizzazione ha reso il web uno degli strumenti più importanti del nuovo millennio per quanto riguarda l'acquisto di prodotti e la comunicazione mondiale; il web, reciprocamente, ha contribuito alla diffusione massiva della globalizzazione. A dimostrazione di questo legame, vi è inadeguatezza nel parlare di Internet facendo riferimento ai singoli paesi e in modo più adeguato ci si riferisce all'ambito internazionale.

La rete Internet nasce quando il dipartimento di difesa e l'intelligence militare statunitense iniziano a temere un attacco da parte dell'URSS dopo il lancio dello "Sputnik" durante la Guerra Fredda, nel 1957. Negli anni sessanta l'ARPA (Advanced Research Project Agency) finanziò una ricerca volta a costruire reti di comunicazione diffuse per riuscire a far fronte ad attacchi. Tra la fine degli anni sessanta e l'inizio degli anni settanta nasce il precursore di Internet, la rete ARPAnet.

15 Il NAFTA (North American Free Trade Agreement) è un trattato di libero scambio firmato il 17 dicembre 1992 tra Stati Uniti, Canada e Messico. L'ASEAN (Association of South-East Asian Nations) è un associazione politica, economica e culturale fondata nel 1967 nel sud-est asiatico.

16 BRIC è un acronimo utilizzato per indicare un insieme di paesi in via di sviluppo accomunati da alcune caratteristiche come il PIL in crescita, grande popolazione, immenso territorio e abbondanti risorse naturali strategiche.

Inizialmente utilizzata dai centri di ricerca americani, ben presto questa rete fu adoperata anche da tutte le università statunitensi e da molte europee. Più tardi comparvero i protocolli di comunicazione TCP/IP al fine di evitare che i computer con diversi linguaggi non potessero comunicare tra loro.

Fu finalmente all'inizio degli anni novanta che Internet, una rete che comprendeva le altre reti di comunicazione, comincia ad essere utilizzata da alcune grandi aziende e dalla comunità scientifica. Poco dopo, Tim Berners-Lee, ricercatore del CERN (*Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*) ideò l'HyperText Markup Language (HTML), che descrive il contenuto e la struttura delle pagine web, e *l'HyperText Transfer Protocol* (HTTP) che determina il modo in cui il browser comunica con il server web.

A partire poi dal 1995 iniziano a svilupparsi i primi siti web commerciali e, nel 1997, vi è una forte concorrenza tra Netscape ed Explorer per la supremazia del mercato. Come a posteriori si è venuto a sapere, Explorer prevalse.

Nella *Figura 1.6* è possibile vedere il performance *trend* delle 250 aziende utilizzatrici di ICT più importanti a livello mondiale. Come si osserva, a partire dal 2002 il profitto netto ha registrato una crescita sempre positiva con una eccezione nel 2008 quando la crisi mondiale ha portato un brusco calo anche in questo settore.

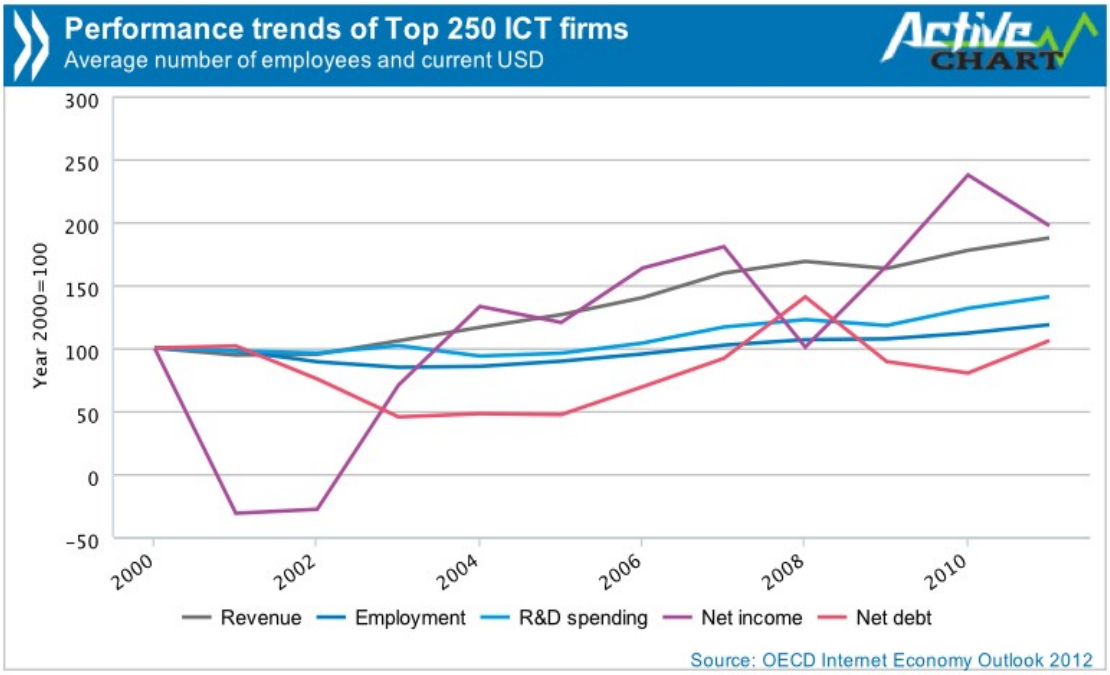


Figura 1.6: Andamento della performance delle 250 migliori imprese nel mondo nel 2012. Fonte: OECD.

Con l'avanzamento della tecnologia e lo sviluppo di Internet si sono sviluppati parallelamente anche dei modelli economici che si avvalgono del web per avere successo. Nel 2011 la Confindustria Digitale ha dichiarato che: "*obiettivo prioritario da raggiungere entro il 2013 deve essere quello di recuperare i gap con l'Europa sull'uso dei servizi Internet*". Nel 2011 infatti, si era stimato che la media del peso espresso in percentuale della internet *economy* sul PIL italiano era ancora troppo basso in confronto alla media degli altri paesi industrializzati. Tuttavia, il tasso di crescita italiano nel 2012 si attesta tra i più alti se confrontato con altri paesi europei.

1.7.1. E-commerce

L'e-commerce è uno dei modelli economici che si è affermato grazie alla diffusione di Internet. Purtroppo, ha incontrato delle difficoltà nella fase di espansione a causa della mancanza di fiducia delle persone nell'effettuare operazioni di acquisto online.

Questo modello economico si è affermato in modo massiccio solo negli ultimi anni a causa la riluttanza delle persone nel ricorrere alla rete per paura di essere truffati o perché temono una violazione della sicurezza delle informazioni riservate della carta di credito. In realtà, ci sono varie ragioni che ostacolano la diffusione dell'e-commerce ma di queste si discuterà più avanti. È importante sottolineare tuttavia che, negli ultimi tempi, si stanno mettendo a punto degli efficienti metodi tecnologici che consentono agli utenti di effettuare gli acquisti in condizioni di maggiore sicurezza.

Che cosa prevede precisamente la definizione di e-commerce? Nella sua accezione più pura l'e-commerce riguarda la vendita online di prodotti e stabilisce che la transazione commerciale sia online dal momento dell'ordine al momento del pagamento. Le imprese che trattano tutto il lavoro servendosi della rete vengono dette *pure players* mentre quelle che svolgono una parte dei compiti grazie ad internet ed un'altra parte dei compiti in modo tradizionale vengono dette *clicks-and-mortar.*

Quando l'e-commerce si è sviluppato, nella metà degli anni novanta, le aspettative erano alte. L'evoluzione del fenomeno ha mostrato molti lati positivi ma tante delle aspettative attese non si sono realizzate. L'e-commerce ha ampiezza notevolmente maggiore nei mercati business rispetto ai mercati di consumo.

Il successo degli acquisti che si effettuano in rete è dovuto ad alcuni fattori principali:

1. abilità del consumatore nel navigare in internet: un utente che non conosce bene la rete può attribuire la difficoltà di esplorazione di un sito alla struttura malfunzionante del sito e non alla sua mancata capacità di navigare la rete; un utente esperto riesce a valutare obiettivamente le qualità di una pagina web;
2. gestire al meglio il rapporto con il cliente: si possono predisporre dei servizi post-vendita efficaci;
3. creare uno stile unico è una chiave vincente: la qualità di un sito dipende anche da caratteri di tipo emozionale come i colori usati o il design;
4. forte identità e fiducia di marca: in questo modo il cliente può ricordarsi e identificare l'impresa facilmente. Le imprese *clicks-and-mortar* che hanno una fiducia offline elevata da parte dei consumatori devono conquistare anche una reputazione online adeguata;

Le imprese possono adottare dei metodi utili nella comunicazione aziendale che permettono loro di aumentare la credibilità nei confronti dei cliente. Ad esempio, si possono inserire nel sito le opinioni dei clienti soddisfatti che hanno usufruito di beni o servizi dell'azienda. Ancora, si possono utilizzare gli agenti di consiglio, agenti software che individuano gli interessi o le preferenze dei consumatori e forniscono suggerimenti di acquisto adeguati in siti di e-commerce.

Come anticipato all'inizio del paragrafo, l'e-commerce presenta anche dei lati negativi che non gli hanno permesso uno sviluppo all'altezza delle aspettative.

Questi elementi di debolezza sono:

1. elementi culturali del consumo: un atteggiamento favorevole all'acquisto offline può essere dato dalla routine e dalla percezione di controllo che si prova quando si compra in un punto vendita. Inoltre, per molte persone lo shopping è fonte di divertimento e non sono disposte a rinunciarvi;
2. conoscenze informatiche e controllo sulla tecnologia: gli Stati Uniti sono più avanti rispetto all'Italia per quanto riguarda la diffusione della tecnologia;
3. fiducia dell'utente nei confronti della rete: mentre con un acquisto tradizionale l'utente ha una relazione diretta con il venditore, con un acquisto online non vi è un contatto diretto tra i due soggetti e, per molte persone, il fatto di non vedere

l'interlocutore può creare disagio;

4. timore per la sicurezza delle transazioni: si teme una violazione della privacy e della sicurezza;
5. alcuni beni presuppongono un maggiore contatto fisico rispetto ad altri: l'abbigliamento e i beni alimentari sono tra questi, la musica e i biglietti aerei invece non richiedono necessariamente di essere trattati in maniera diretta;
6. complessità logistica: se i prodotti non sono digitali come nel caso della musica, possono esserci dei costi di trasporto aggiuntivi per l'azienda ed il consumatore deve rendersi reperibile alla consegna.

Questa difficoltà stanno scemando piano piano con l'avanzamento tecnologico e la predisposizione di soluzioni efficienti. Per quanto riguarda la sicurezza nei pagamenti ed il mantenimento della riservatezza è stato messo a punto dall'azienda PayPal un servizio per il pagamento online. Registrando sul sito di PayPal i propri dati personali e quelli della propria carta di credito/debito è possibile, ogniqualvolta si effettui un acquisto online, scegliere come modalità di pagamento il sistema PayPal. Con questo meccanismo il sito presso cui avviene l'acquisto si affida ai dati inseriti in PayPal e questa protegge l'utente da abusi di dati personali e truffe. Il servizio è gratuito.
I processi di acquisto tramite e-commerce sono facili nei casi standard ma, nei casi non standard, è meno semplice di quanto possa avvenire offline e sono necessarie procedure prestabilite, un atteggiamento razionale e una conoscenza tale da consentire all'utente di di procedere da solo alla ricerca, all'acquisto e al pagamento del prodotto.

1.7.2 Crowdsourcing

Il crowdsourcing è un modello economico nato recentemente che deriva da un'idea di intelligenza collettiva e di collaborazione tra le persone. Il motto alla base del progetto è "*l'unione fa la forza*". Il raggruppamento e la comunicazione tra un vasto gruppo di persone consente la condivisione della conoscenza e delle idee e permette di giungere a soluzioni sempre più innovative e dettagliate. La creatività viene elevata all'ennesima potenza grazie alle nuove tecnologie. La rete internet ha dato una spinta notevole alla connessione delle intelligenze ovvero al dialogo tra utenti provenienti da diverse zone del pianeta, ognuno con un bagaglio di conoscenze ed esperienze diverso.

Il termine crowdsourcing è stato coniato dal giornalista di Wired, Jeff Howe, nell'articolo *"The rise of crowdsourcing".* Questa definizione comprende tre parole che riassumono il concetto fondamentale di questo modello economico:

- *Crowd*, persone, folla;
- *Source*, fonte/sorgente;
- *Outsourcing*, esternalizzazione della propria attività al di fuori dell'impresa.

Il crowdsorcing è una metodologia attraverso la quale le imprese chiedono un contributo, che può essere sia finanziario sia nella generazione di idee, tramite la rete, e affidano lo sviluppo di un progetto o di una parte di un'attività dell'azienda ad un gruppo distribuito di persone che si aggrega intorno ad una piattaforma web. Gli UGC (*User Generated Content*)[17], strumenti tipici del Web 2.0., assumono importanza rilevante nell'ambito del crowdsourcing. Dato che la partecipazione è volontaria, la rete permette agli utenti di prendere parte ai progetti che più li interessa.

I benefit del crowdsourcing comprendono qualità più elevata nei risultati, maggiore tempestività rispetto ai metodi tradizionali e la possibilità di selezionare il risultato migliore da una serie di progetti scelti. Dall'altro lato, l'imperativo da rispettare del crowdsourcing è la chiarezza delle istruzioni date agli utenti: la qualità di un lavoro può essere difficile da giudicare se non vengono comunicate le aspettative correttamente, le quali devono essere percepite dagli utenti in modo inequivocabile. É possibile suddividere il crowdsourcing in tre differenti tipologie:

La prima tra queste è il *Crowdsource Design.* Questa prevede che un soggetto o un'impresa comunichi ad una massa di *designer* le aspettative in merito al *logo design* che intende realizzare, quanto egli è disposto a pagare e la scadenza del progetto. Una volta vagliati tutti i *design* che sono stati presentati (si può arrivare anche a 300), il committente può tenerne quanti desidera. Rispetto al freelancing tradizionale, il crowdsourcing permette di aumentare la qualità e diminuire il prezzo. Il *crowdsource design* può essere usato nel settore dell'arredamento, della moda, della pubblicità e dei video e nel *design* di nuovi prodotti.

Un esempio vincente di Crowdsource Design è Threadless, una piattaforma online nata

17 UCG (User-Generated Content): è tutto il materiale disponibile sul web prodotto da utenti e non da società specializzate. É diventato di uso comune nel 2005 con i *new media* e il *web publishing*.

nel luglio del 2012 attraverso la quale è possibile inviare e votare design di t-shirt caricati dagli utenti: la *community* viene coinvolta nello sviluppo e nella scelta delle magliette. I progetti presentati sul sito vengono votati entro un periodo di sette giorni e, quelli che ricevono il punteggio più elevato, vengono inseriti nel catalogo: l'autore cede i diritti esclusivi a Threadless per la creazione delle magliette e in cambio riceve 2000 dollari in contanti, 500 dollari di buono regalo da utilizzare in determinati siti e ulteriori 500 dollari ogni volta che il design verrà ristampato.

Un'altra categoria di crowdsourcing è il *Crowdfunding***,** letteralmente "finanziamento dalla folla". Ciò che si verifica è una raccolta online di fondi tramite piccole somme donate da un numero molto elevato di utenti. Il crowdfunding si rifa' al concetto di micro-finanza, secondo il quale si possono accumulare capitali ingenti con piccole quantità di denaro che, aggregate, costituiscono una somma significativa. Questo metodo di accumulazione del capitale è stato inserito tra i modelli produttivi che si sono diffusi con l'affermazione di internet perché la raccolta del denaro sfrutta i comportamenti, gli schemi mentali, la popolarità e soprattutto l'effetto virale dei *social network*. Grazie alla viralità l'azione di una persona viene imitata, suggerita, consigliata e vista da molti altri soggetti. In questo modo, azioni che possono sembrare di poco conto come tweet o post sono in grado di generare un passaparola notevole tra amici, parenti, conoscenti e contatti del proprio profilo personale. Inoltre, gli utenti ripongono maggiore sicurezza in prodotti che piacciono ai loro contatti e amici. Negli ultimi tempi si tende a riconoscere sempre di più il valore dei *social network* come mezzo a cui attribuire un potenziale di marketing e pubblicitario enorme.

Quando si inizia un progetto di crowdfunding, il target su cui si preferisce puntare sono le comunità. Ci possono essere comunità di individui con conoscenze specifiche su certi argomenti, quelle unite da uno scopo specifico come ottenere dei risarcimenti oppure quelle formate da utenti con una passione condivisa per una marca o un argomento.

Per quanto concerne il tipo di finanziamento, generalmente vengono chieste piccole somme, l'ammontare che si ritiene più opportuno affinché un maggior numero di persone accorra. Con internet è possibile attirare pubblico da tutto il mondo e, aumentando il numero di acquirenti, si consente a prodotti di nicchia di essere venduti ad un costo più basso.

Si ricorre a questo metodo per finanziare progetti di beneficenza, progetti creativi, venture capitalist e start-up. In Italia non esistono ancora molti esempi di crowdfunding. Tra i siti di crowdfunding più famosi si colloca in prima posizione Kickstarter. Questo dà la possibilità a coloro che non possiedono un budget sufficiente per realizzare il progetto che desiderano, di creare una pagina del proprio progetto nel sito di Kickstarter e di cercare di coinvolgere i membri della community nell'attività di raccolta dei finanziamenti. Kickstarter è prevalentemente rivolto ad artisti, musicisti e giornalisti. A diciotto mesi dalla sua nascita Kickstarter aveva già raccolto trenta milioni di dollari da parte di trecento mila finanziatori.

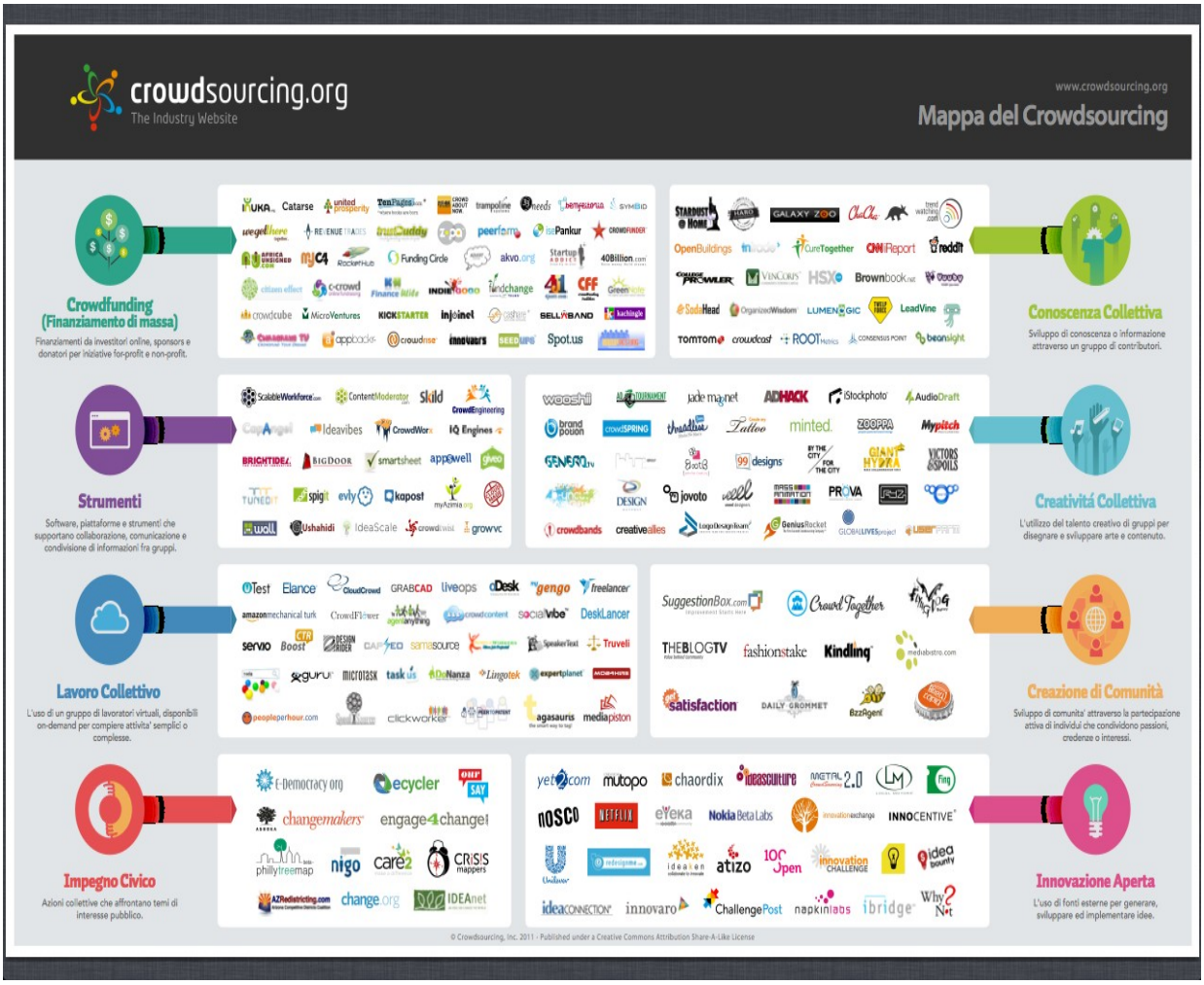

crowdsourcing.org
The Industry Website
www.crowdsourcing.org
Mappa del Crowdsourcing
Crowdfunding (Finanziamento di massa)
Finanziamenti da investitori online, sponsors e donatori per iniziative for-profit e non-profit.
Conoscenza Collettiva
Sviluppo di conoscenza o informazione attraverso un gruppo di contributori.
Strumenti
Software, piattaforme e strumenti che supportano collaborazione, comunicazione e condivisione di informazioni fra gruppi.
Creatività Collettiva
L'utilizzo del talento creativo di gruppi per disegnare e sviluppare arte e contenuto.
Lavoro Collettivo
L'uso di un gruppo di lavoratori virtuali, disponibili on-demand per compiere attivita' semplici o complesse.
Creazione di Comunità
Sviluppo di comunita' attraverso la partecipazione attiva di individui che condividono passioni, credenze o interessi.
Impegno Civico
Azioni collettive che affrontano temi di interesse pubblico.
Innovazione Aperta
L'uso di fonti esterne per generare, sviluppare ed implementare idee.

Figura 1.7: Mappa dei siti o degli enti che eseguono attività di crowdsourcing divisi a seconda dello scopo che perseguono. Fonte: www.crowdsourcing.org.

Il *Microtasking* invece, consente la divisione del lavoro in tanti compiti di dimensioni minori. Il lavoro viene affidato ad una folla di persone in modo tale che ciascun individuo svolga un compito differente. Ad esempio, se si hanno 1000 foto su un sito web alle quali è necessario abbinare una didascalia, ci si può rivolgere a 1000 individui diversi affinché ciascuno completi una foto con una didascalia. In questo caso, il compenso può aggirarsi tra uno e dieci centesimi. Con il *microtasking,* il lavoro viene svolto in pochi minuti, in modo economico e con pochi errori. Inoltre, questo metodo può essere svolto tramite SMS anche coloro che vivono in paesi più poveri e non possono accedere al computer.

1.8. Conclusioni

Dopo aver esaminato i modelli produttivi ed economici che si sono susseguiti nel corso della storia è possibile delineare un quadro preciso delle caratteristiche, del contesto e delle condizioni che devono sussistere affinché un modello industriale possa essere più efficace di un altro. È possibile a questo punto ipotizzare, per i nuovi prodotti, il modello industriale che più risulta idoneo. Ad esempio, i medicinali equivalenti, ovvero quelli che hanno lo stesso principio di alcuni medicinali conosciuti il cui brevetto è scaduto, sono prodotti standardizzati che verranno prodotti in grandi quantità e verranno commercializzati preferibilmente in punti vendita offline. Il settore calzaturiero era un mercato che si serviva prevalentemente di vendite dirette al consumatore: oggi la formula di commercializzazione presenta degli elementi innovativi rispetto a quella di vent'anni fa. Negli ultimi dieci anni è aumentato a vista d'occhio il numero dei siti in cui si possono comprare abbigliamento e scarpe di tutti i tipi. C'è stata un'evoluzione che ha visto il passaggio dalla presenza del solo negozio offline alla convivenza tra e-commerce e punto vendita offline.

Il prodotto innovativamente tecnologico che verrà trattato in questo manoscritto sono le stampanti 3D: l'obiettivo è quello di capire gli effetti di questa rivoluzione tecnologica sui modelli produttivi esistenti e determinare la funzione principale delle stampanti 3D in ambito industriale.

Capitolo 2:
Cos'è la stampa 3D e come funziona

Introduzione

"La stampa tridimensionale rende economico creare singoli oggetti tanto quanto crearne migliaia, minando così le economie di scala. Essa potrebbe avere sul mondo un impatto così profondo come lo ebbe l'avvento della fabbrica (...). Proprio come nessuno avrebbe potuto predire l'impatto del motore a vapore nel 1750, della macchina da stampa nel 1450 o del transistor nel 1950, è impossibile prevedere l'impatto a lungo termine della stampa 3D. Ma la tecnologia sta arrivando, ed è probabile che sovverta ogni campo che tocchi."

The Economist, 10 febbraio 2011

Con questo editoriale, The Economist, è stato il primo quotidiano al mondo a dichiarare quanto fosse rivoluzionaria la stampa 3D. Negli anni successivi sono molti i giornali che hanno discusso la portata innovativa di questa tecnologia. La rivista Wired ha proclamato il 2013 come l'anno del successo delle stampanti 3D.

Sebbene si sia diffusa in maniera radicale solamente nell'ultimo decennio, gli esordi della stampa 3D risalgono agli anni '80 del XX° secolo. Quando fece la sua comparsa, tale fenomeno presentava più lati negativi che benefici. Tra gli svantaggi vi era sicuramente il prezzo: per acquistare un *best* di gamma si poteva arrivare a spendere anche mezzo milione di dollari. Inoltre, il procedimento per la produzione di un singolo oggetto era molto lento (si impiegavano anche giorni), la qualità non era ottima e le possibilità di utilizzarlo per fabbricare beni e venderli nel mercato era molto limitata. Tuttavia, dagli anni '80 sono stati fatti passi da gigante nella tecnologia del *3D printing* e finalmente oggi si può definire pronta ad essere sfruttata. Nonostante siano molte le aziende che utilizzano da tempo le stampanti 3D per la costruzione di prototipi, in circa

trent'anni di studi e di progressi tecnologici i mezzi di comunicazione di massa non hanno saputo menzionare in maniera adeguata la portata innovativa di questo fenomeno.
Il fattore trainante che ha determinato la diffusione di massa del *3D printing* è stata la diminuzione del prezzo di acquisto delle stampanti: il costo è sceso di circa 250-300 volte. Oggi, il prezzo di un apparecchio da casa/ufficio si aggira intorno ai 1.000-1.500 dollari, con punte minime tra i 500 e i 750 dollari; i macchinari ad uso industriale invece, superano anche i 25.000 dollari.
Un altro fattore determinante del *3D printing* moderno è la raffinazione delle tecniche di produzione. La prima a nascere fu la stereolitografia, successivamente si svilupparono altri metodi come la deposizione fusa o la sinterizzazione laser. Il punto di forza di questi metodi detti "additivi" è lo spreco minimo di materiali e dunque la mancata necessità di destinare tempo alla gestione dei rifiuti.
Anche il fatto che la gamma di materiali utilizzabili stia diventando sempre più ampia può essere considerato un beneficio: si può produrre un numero sempre maggiore di prodotti. L'uso del titanio come materiale innovativo e l'uso congiunto di alcuni materiali con le tecniche di sinterizzazione laser consente di stampare oggetti più leggeri senza dover modificare le catene di produzione.
Nonostante i progressi fatti negli ultimi anni nel campo del *3D printing* persiste un problema che non ha ancora trovato soluzione: la tempistica di produzione. Il tempo necessario per realizzare un oggetto attraverso la stampa 3D cresce proporzionalmente con le dimensioni dell'oggetto. Per il singolo consumatore la durata del processo di stampa non è un grosso ostacolo da affrontare dato che può attendere tutto il tempo necessario per la creazione di un oggetto. Il ritmo di produzione serrato delle fabbriche invece, impone tempi brevi. Una durata eccessiva del processo significa maggiori costi, minore efficienza e *lead time* più lunghi. Solamente il progresso tecnologico futuro potrà consentire di ovviare a tutti questi problemi. Fino a quel momento la situazione della stampa 3D può essere paragonata ad un cavallo zoppicante.

2.1. Che cos'è la stampa 3D?

La stampa 3D nasce negli anni '80 del XX° secolo come evoluzione della stampa 2D e si riferisce ad un processo di produzione additiva (*additive manufacturing*) con il quale un macchinario è in grado di creare oggetti solidi tridimensionali.

Il *3D printing* è il migliore risultato raggiunto nell'ambito della *Digital Fabrication*.

Nei paragrafi seguenti sarà chiarito in dettaglio il concetto di stampa 3D dal punto di vista storico, tecnico e funzionale.

Figura 2.1: Lampade stampate in 3D con il metodo FFF.
Fonte: http://www.informatichissimo.net.

2.2. Prospettiva storica

2.2.1. L'origine della prototipazione rapida

Le prime tracce dello studio di una tecnologia per la prototipazione meccanica rapida si possono ritrovare in due aree: la topografia e la fotoscultura[18].

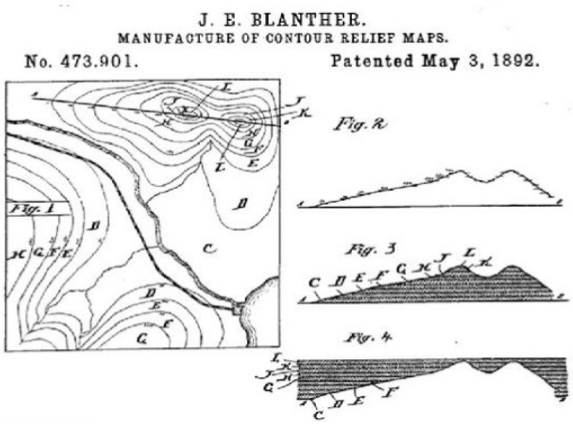

J. E. BLANTHER.
MANUFACTURE OF CONTOUR RELIEF MAPS.
No. 473,901. Patented May 3, 1892.
Fig. 2
Fig. 3
Fig. 4

Figura 2.2: Carta topografica e altro materiale di studio di Blanther. Fonte: Università La Sapienza di Roma.

Topografia

Già nel 1890 Blanther[19] propose un metodo per creare uno stampo che riproduceva una mappa topografica di rilievi. Si tratta di un metodo a strati che consiste nello stampare linee di contorno topografiche su una serie di piatti di plastica, tagliare i piatti di plastica lungo le linee di contorno, accatastare e lisciare le sezioni di plastica. Ciò produceva superfici

18 Secondo la prospettiva storica di Joseph J.Beaman.
19 J.E. Blanther: autore di "*Manufacture of Contour Relief Maps* ", US Patent #473,901, 1892.

tridimensionali positive e negative corrispondenti alla mappa del terreno indicata dalle linee di contorno. Dopo una cottura adeguata delle superfici, si arrivava a creare una mappa dei rilievi rialzata. Nel 1940 Perera propose una metodo simile tagliando linee di contorno su fogli di cartone, accatastando e incollando questi fogli per formare una mappa di rilievi tridimensionali. Questo approccio fu migliorato in seguito da Zang e Gaskin. Nel 1972, Matsubara della Mitsubishi Motors propose un processo topografico che si serviva di materiali che si indurivano al sole, come la resina fotopolimera. La proiezione della luce permetteva l'indurimento di alcune parti; le parti non indurite invece si toglievano con un solvente. I sottili strati formatisi si accatastavano insieme formando uno stampo colata.

Nel 1979, il professor Nakagawa[20] dell'Università di Tokyo iniziò a utilizzare strutture laminari per realizzare strumenti che formavano delle presse industriali.

Fotoscultura

L'ambito della fotoscultura crebbe nel XIX° secolo cercando di realizzare repliche tridimensionali esatte degli oggetti, comprese parti umane. La fotoscultura è l'arte di realizzare delle sculture avvalendosi della fotografia per ritrarre i contorni dell'oggetto da riprodurre. Una creazione di successo fu realizzata da Frencjman François Willième nel 1860 e prevedeva che un oggetto fosse messo al centro di una stanza circolare e fosse fotografato contemporaneamente da ventiquattro fotocamere collocate a uguale distanza lungo la circonferenza della stanza. Il profilo di ogni fotografia veniva poi usata da un artigiano dello studio per scolpire una porzione (1/24°) della figura.

Uno dei primi lavori eseguiti in Giappone fu invece quello di *Morioka,* il quale sviluppò un processo ibrido combinando aspetti di fotoscultura e topografia. Questo metodo utilizza luci strutturate (fasce bianche e nere della luce) per creare fotograficamente le linee di contorno di un oggetto. Le linee possono poi essere impresse su dei fogli, tagliate e accatastate, o proiettate su materiale depositato per l'incisione.

Nel 1951, Munz[21] propose un sistema con le stesse caratteristiche della stereolitografia

20 T. Nakagawa: co-autore di "*Blanking Tool by Stacked Bainite Steel Plates* ", *Press Technique*,1979, "*Development of Laminated Drawing Dies by Laser Cutting*", *Bull of JSPE* ,1984, "*Laser Cut Sheet Laminated Forming Dies by Diffusion Bonding*", *Proc 25th MTDR Conf* ,1985;

21 O.J. Munz: autore di "*Photo-Glyph Recording*", US Patent #2,775,758, 1956;

attuale. Egli divulgò un procedimento in cui ciascuno strato si otteneva da una sezione orizzontale dell'oggetto scansionato. Questi strati venivano creati facendo abbassare un pistone all'interno di un cilindro e aggiungendo un ammontare adeguato di emulsionante foto ed agente fissante. Dopo l'esposizione alla luce e l'indurimento, il cilindro trasparente solido conteneva un immagine dell'oggetto. L'oggetto poteva poi essere intagliato o inciso fotochimicamente per creare una figura tridimensionale.

Nel 1968 Swainson propose un processo per fabbricare direttamente un modello di plastica attraverso la polimerizzazione tridimensionale di un polimero fotosensibile nel punto di intersezione di due raggi laser.

Un processo che usa la polvere e il laser fu proposto nel 1971 da Ciraud[22]. Con questo metodo si realizzano gli oggetti partendo da una varietà di materiali che sono almeno parzialmente mescolabili. Per produrre un oggetto, piccole particelle aderiscono ad una griglia grazie all'effetto della gravità o dell'elettrostaticità, o grazie ad un'apposita bocchetta situata vicino alla griglia. Le particelle sono poi scaldate localmente da un laser o raggio elettronico o raggio al plasma. Come conseguenza al riscaldamento, le particelle aderiscono le une alle altre formando così uno strato continuo.

Hideo Kodama dell'Istituto di Ricerca Industriale del Municipio di Nagoya, una città nell'isola di Chubu in Honshu, in Giappone, fu il primo a pubblicare un resoconto di un sistema di prototipazione rapida funzionante tramite fotopolimeri[23]. L'oggetto solido veniva fabbricato con una costruzione a strati.

Sviluppo commerciale

Tra il 1861 e il 1868 lo studio della fotoscultura di Willième ottenne un buon successo commerciale. Esso però aveva un considerevole lato negativo che causò la sua uscita dal mercato: le porzioni dell'oggetto dovevano essere scolpite a mano. Il tentativo commerciale seguente fu quello di Swainson nel 1977 presso la Formagraphic Engine Company. Il progetto sembra sia stato abbandonato ancor prima che un processo

22 P.A. Ciraud: autore di "*Process and Device for the Manufacture of any Objects Desired from any Meltable Material*", FRG Disclosure Publication 2263777, 1972;

23 H. Kodama: autore de "*Automatic Method for Fabricating a Three-Dimensional Plastic Model with Photo Hardening Polymer*", *Rev Sci Instrum*, 1981;

commerciale venisse sviluppato. Sempre nel 1977 venne creata una compagnia chiamata SolidPhtography e fu aperto a New York City un punto vendita affiliato chiamato Sculpture by Solid Photography. La Solid Photography e la compagnia Solid Copier operarono come sussidiarie di Robotic Vision fino al 1989.

2.2.2. Dal 2D al 3D printing

La stampa 2D moderna, diffusa a partire dalla metà del novecento, è il processo attraverso il quale vengono stampati su carta dei documenti digitali. Le tecniche più diffuse sono principalmente due: stampa *inkject*, o a getto d'inchiostro, e stampa a laser. La stampa 2D e 3D sembrano seguire un procedimento simile ma in realtà la differenza è sostanziale: in entrambe i casi il lavoro di modellazione e progettazione viene eseguito a computer e la creazione dell'oggetto vero e proprio spetta alla stampante sulla base delle informazioni suggerite dal computer. Nel caso della stampa 2D si ottiene un documento cartaceo con testi o immagini bidimensionali impresse con l'inchiostro o con il laser mentre con la stampa 3D il risultato è un vero e proprio oggetto tridimensionale in plastica, in metallo o altro materiale.

2.2.3. L'evoluzione del 3D printing

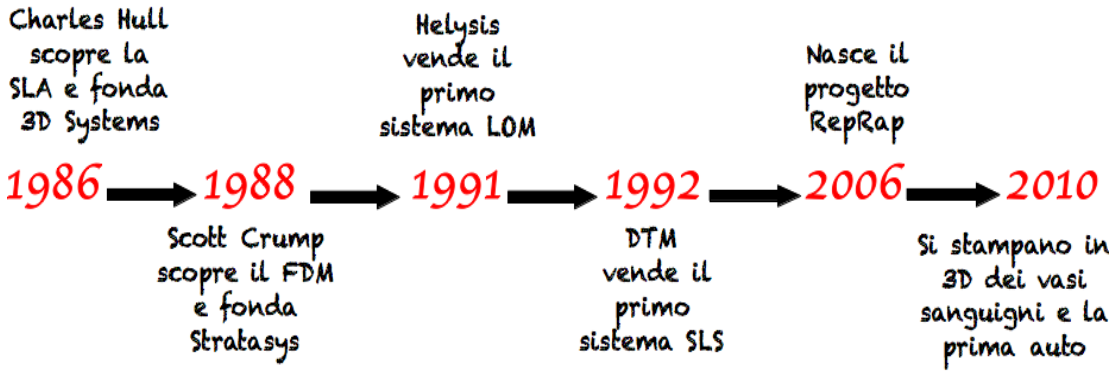

Charles Hull scopre la SLA e fonda 3D Systems
1986
1988
Scott Crump scopre il FDM e fonda Stratasys
Helysis vende il primo sistema LOM
1991
1992
DTM vende il primo sistema SLS
Nasce il progetto RepRap
2006
2010
Si stampano in 3D dei vasi sanguigni e la prima auto

Figura 2.3: Linea del tempo che riporta la scoperta delle principali tecniche di stampa 3D e gli avvenimenti più importanti.

Come già detto in precedenza, il primo riferimento sulla stampa 3D è il resoconto pubblicato nel 1981 da Hideo Kodama. In seguito a questa prima pubblicazione sono

stati compiuti passi importanti.

Charles Hull[24] è colui a cui viene attribuito il merito dell'invenzione della stampa 3D moderna. Nel 1986 egli depositò un brevetto che certificava l'invenzione della stereolitografia (SLA), il primo metodo conosciuto in grado di stampare oggetti in 3D. La nascita di questo nuovo metodo di produzione inaugurò una nuova era per le tecniche di lavorazione dei prodotti. Hull fondò la 3D Systems, una delle case produttrici più potenti nel panorama odierno, e sviluppò lo Stereolithography Apparatus, il primo modello commerciale di stampante 3D. Fu però il modello SLA-250 il primo ad essere venduto al grande pubblico.

Nel 1988 Scott Crump[25] scoprì il *Fused Deposition Modeling* (FDM) e l'anno successivo dette vita ad un'altra delle maggiori compagnie di stampanti 3D esistenti, Stratasys. Il primo modello basato sulla tecnica del FDM fu chiamato 3D Modeler. Quattro anni più tardi la start-up DTM vendette il primo sistema *Selective Laser Sintering*, SLS.

Nel 1995 Z Corporation iniziò a sviluppare stampanti basate sulla tecnica di stampa a getto d'inchiostro. Alcuni anni dopo è la prima società a diffondere nel mercato una stampante a colori ad alta definizione.

Nel 1997 EOS cedette il suo business sulla stereolitografia alla società 3D Systems ma mantenne la sua fama come la più importante compagnia europea di 3D printing.

Nel marzo del 1997, quasi vent'anni dopo la pubblicazione di Kodama, i Japanese and Word Technology Evaluation Centers[26] pubblicarono un *panel report* intitolato "*Prototipazione Rapida in Europa e Giappone*". All'interno di questo scritto si può trovare un quadro abbastanza preciso sullo sviluppo della stampa 3D e sulla diffusione mondiale della stessa.

Quasi a dieci anni di distanza, nel 2005, nel mondo delle stampanti 3D fa capolino il primo progetto sviluppato in open-source: il suo nome è RepRap. Lo scopo di questo progetto è quello di produrre una stampante a basso costo in grado di ricreare la

24 Charles W. Hull: co-fondatore, vice-presidente esecutivo e *chief technology officer* della società 3D Systems. Inventore della SLA e del formato .stl, ha realizzato più di 60 brevetti.

25 Scott Crump: insieme alla moglie Lisa Crump brevetta il FDM e fonda la società Stratasys, quotata in borsa nel 1994 e di cui è attuale presidente. Lavorò per il *National Center for Manufacturing Sciences*, co-fondò l'attuale società SI Technologies Inc. e partecipò agli studi per creare la plastica ABS.

26 World Technology Evaluation Center, Inc: più importante organizzazione delle nazioni nella valutazione del livello della tecnologia attraverso gli studi degli esperti. Si tratta di un'organizzazione non-profit che ha condotto più di 70 studi dal 1989.

maggioranza delle parti di cui è composta.

Dal 2008 ad oggi sono stati molti coloro che hanno sperimentato e studiato la stampa 3D di oggetti di qualsiasi tipo; sono stati realizzati anche un bikini e della cioccolata.

2.3. Produzione additiva e sottrattiva

Per produrre oggetti solidi tridimensionali è possibile utilizzare sia tecniche "sottrattive" che "additive". Nella manifattura, in particolare nella lavorazione mediante l'uso di macchine, i metodi sottrattivi sono etichettati come metodi tradizionali. Con la produzione sottrattiva gli oggetti si ottengono tagliando o scavando il materiale da una forma più grande. Le tecniche sottrattive più diffuse sono le frese a controllo numerico oppure i *laser cutter*.

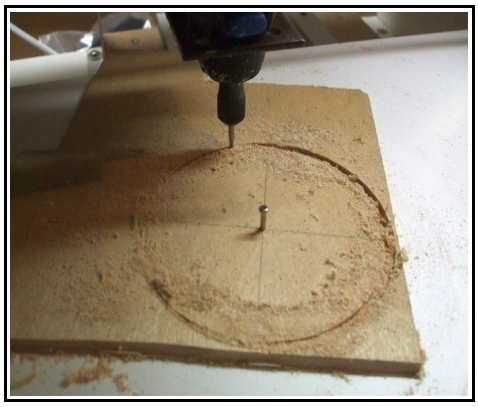


Figura 2.4: Produzione sottrattiva tramite fresa. Fonte: www.criscaso.com.

La produzione additiva invece, prevede di creare un oggetto attraverso la sovrapposizione di strati multipli e sottili di materiale. Le tecniche additive esistenti differiscono a seconda del modo in cui gli strati sono depositati e del materiale che può essere usato. I vantaggi principali della produzione additiva sono:

1. è possibile dar vita a forme estremamente complesse e dettagliate senza l'ausilio di stampi o attrezzature (con la produzione sottrattiva non è possibile);
2. lo scarto del materiale è minimo, vi è minore spreco e i costi sono inferiori;
3. i materiali che possono essere usati sono moltissimi: dal metallo alla ceramica, alla plastica e alla sabbia;
4. la produzione additiva è principalmente utilizzata nella prototipazione rapida per produrre modelli e avere un'idea realistica dell'oggetto che si sta progettando prima della sua produzione in serie. Negli ultimi anni tale tecnica è stata divulgata dai media

Figura 2.5: Produzione additiva tramite SLS. Fonte: www.exnovo-italia.com.

facendola conoscere al grande pubblico e non solo ai *designer* o ingegneri professionisti: grazie ai progressi avvenuti è possibile produrre in poco tempo oggetti realistici che non richiedono ulteriori finiture.

2.4. Il processo

Le nuove tecnologie di stampa qui trattate consentono di produrre oggetti basandosi su un modello digitale sviluppato tramite programmi CAD o scansionato con tecniche laser. Il file con il progetto da stampare contiene le istruzioni che la stampante deve seguire e che verranno inviate dal processore. I modelli realizzati vengono prodotti grazie alla sovrapposizione perfetta di strati di polimeri condensati di varia natura che si aggregano e formano una vera e propria materia solida. Il risultato ottenuto è una oggetto che riprende tutte le caratteristiche e misure prima progettate a computer.
Il processo di stampa 3D può essere suddiviso in tre passaggi:

1. Modellazione
2. Fase di stampa
3. Perfezionamento

2.4.1. Modellazione e realizzazione dei modelli 3D

Si tratta della prima fase del processo e consta di due passaggi. Il primo passaggio prevede di costruire il modello tramite un software 3D che permette di ottenere rappresentazioni matematiche o modelli tridimensionali dell'oggetto da costruire. Attraverso programmi di tipo CAD o di Animation Modeling Software l'utente disegna a computer l'oggetto da realizzare e attua le modifiche che ritiene opportune. Il software usato per la modellazione lavora su file con formati di tipo .obj e .stl. Un file STL approssima la forma di una parte o assembla usando sfaccettature triangolari che permettono di avere una qualità della superficie più elevata. Il PLY è un formato file input generato da scanner, i file VRML (o WRL) sono usati come input per tecnologie 3D capaci di stampare a colori.
Il potenziale dei programmi di modellazione 3D consiste nella vasta gamma di applicazioni che possono avere: gli architetti possono usarli per progettare edifici e paesaggi, gli ingegneri per fare schizzi e veicoli, gli scienziati possono realizzare

modelli dettagliati di composti chimici o formazioni geologiche. Ancora, la modellazione 3D è stata usata anche per i videogiochi o gli effetti speciali dei film.

Negli anni '90, programmi come 3D Studio Max e Rhino 3D ebbero il merito di determinare l'evoluzione dei programmi di modellazione 3D realizzati fino a quel momento. Nel 1998 fu disponibile nel mercato il primo modello 3D, il *"Lands' End Virtual Model 3D dressing room"*, promosso da My Virtual Model Inc.

Con il passare degli anni il numero dei programmi e delle applicazioni 3D è cresciuto sostanzialmente. Oggi il mercato ne offre diverse tipologie che variano a seconda della capacità, dei costi e della facilità d'uso. Tre esempi dei più comuni programmi di modellazione 3D utilizzati sono:

1. Autodesk 3ds Max: versione moderna di 3D Studio Max, ha un costo modesto, molte opzioni e ottime capacità;
2. Rhino 3D: si colloca ad un livello intermedio nel range dei programmi 3D. É meno potente del precedente ma possiede buone capacità, ha una forte somiglianza con Autodesk, si usa facilmente e il costo è basso;
3. SketchUp di Google: ha un costo molto modesto ed è adatto a chi inizia a prendere confidenza con questo tipo di programmi. È facile da usare.

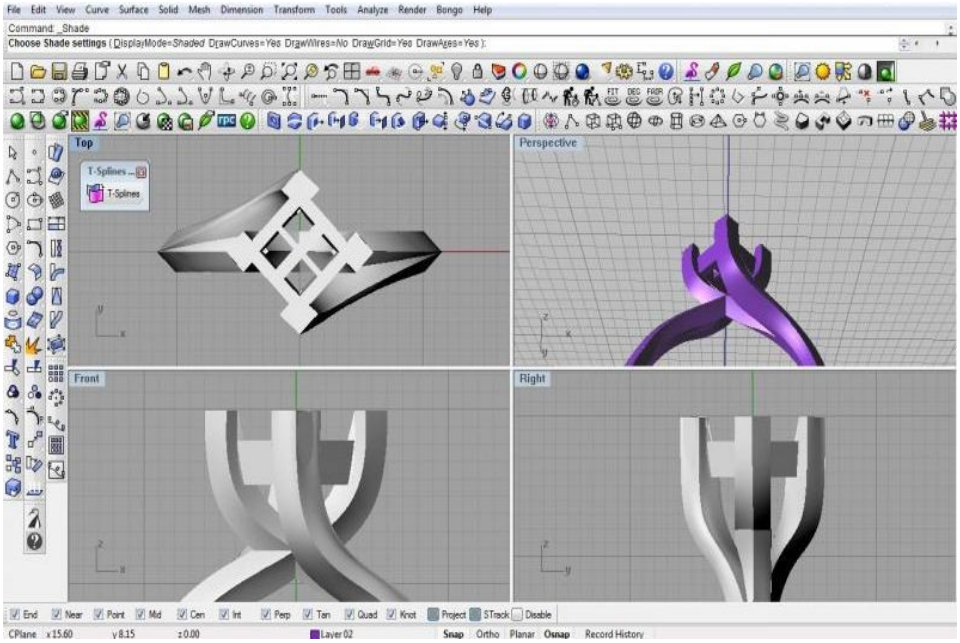

File Edit View Curve Surface Solid Mesh Dimension Transform Tools Analyze Render Bongo Help
Command: _Shade
Choose Shade settings (DisplayMode=Shaded DrawCurves=Yes DrawWires=No DrawGrid=Yes DrawAxes=Yes):
Top
Perspective
Front
Right
T-Splines
End Near Point Mid Cen Int Perp Tan Quad Knot Project STrack Disable
CPlane x 15.60 y 8.15 z 0.00 Layer 02 Snap Ortho Planar Osnap Record History

Figura 2.6: Rhino 3D, programma per la modellazione e la progettazione 3D. Fonte: www.letsave.it

Una volta completato il progetto virtuale è necessario trasmettere alla stampante gli impulsi per la stampa. Il secondo passaggio consiste nel trasformare i file .obj o .stl del progetto virtuale in una serie di istruzioni da comunicare alla stampante (g-code). Dato che l'oggetto viene costruito strato dopo strato, un software apposito "taglia" il modello virtuale in tanti piani bidimensionali orizzontali.

Qui di seguito sono elencati alcuni esempi di software da utilizzare per convertire le informazioni. Il primo tra questi è Repetier-Host. Facile da usare e compatibile con molti firmware, questo software permette di posizionare i file .stl sul piano di stampa e di dividerli. Slic3r invece, trasforma il modello digitale in una serie di istruzioni g-code per la stampante 3D. Cura è simile al precedente: converte file in formato .stl in g-code. Usato dai principali produttori di stampanti 3D, Replicator G permette di stampare file in formato .stl e G-Code. Printun infine, è un set di applicazioni che invia istruzioni G-Code alla stampante. È composto da una linea di comando, un'interfaccia grafica ed alcuni scripts.

2.4.2. Fase di stampa

Nella fase di creazione vera e propria dell'oggetto, la stampante leggerà il file in formato .stl contenente il progetto e inizierà a stendere gli strati di liquido, polvere o altro materiale per realizzare il modello attraverso una serie di sezioni orizzontali. Tali sezioni, che corrispondono esattamente agli strati virtuali con cui il programma CAD ha suddiviso l'oggetto disegnato, verranno unite o si fonderanno per ottenere l'oggetto finale. Uno dei più importanti vantaggi di questa tecnica è proprio la possibilità di creare qualunque forma o figura geometrica.

Lo spessore degli strati tipicamente è intorno ai 100 micrometri (0,1 mm). Le particelle (punti 3D) hanno un diametro all'incirca da 50 a 100 micrometri (0,05-0,1 mm). Le dimensioni dell'oggetto non devono essere maggiori di 200x240x150 mm X-Y-Z. La risoluzione massima è di 0,1 mm in Z e di 0,2 mm in XY. Ogni modello deve avere almeno un piano di appoggio.

La costruzione di un modello con i metodi moderni può durare molte ore o anche molti giorni, a seconda del metodo usato, della dimensione e della complessità del modello stesso. Le stampanti 3D conferiscono ai progettisti e ai *development teams* la capacità

di produrre parti e produrre modelli usando una stampante grande quanto una scrivania.

2.4.3. Perfezionamento

Anche se la produzione additiva permette di avere una risoluzione ed un risultato di alta qualità, si può decidere di stampare una versione leggermente più grande dell'oggetto con una risoluzione di tipo standard e poi rimuovere il materiale in eccesso o le piccole imperfezioni con un processo sottrattivo ad alta risoluzione. Questo permette di avere una precisione maggiore.

Alcune tecniche additive usano supporti durante la stampa per riuscire a realizzare e sostenere sporgenze durante la costruzione. Una volta completato il processo, i supporti devono essere rimossi.

2.5. Le tecniche di produzione

Dagli inizi degli anni '80 ad oggi sono stati messi a punto numerosi processi di produzione additiva. Le tecniche attualmente usate sono molte e variano a seconda di come sono depositati gli strati e del materiale che viene adoperato: alcune usano materiali liquidi, come nel caso della stereolitografia, altre fondono materiali per produrre gli strati come nel caso del *selective laser sintering* e del *fused deposition modeling;* altre ancora, tagliano il materiale per poi unirlo e dargli una nuova forma, come nel caso del *laminated object manufacturing*.

2.5.1. *Digital Light Processing*

La S**tereolitografia (SLA),** sviluppata e brevettata da Charles Hull nel 1986, è la tecnica più conosciuta tra quelle che usano il principio della fotopolimerizzazione per dar vita a nuovi modelli.

Il processo di SLA avviene attraverso un *Digital Light Processing (DLP)* ovvero una trasformazione fotochimica (disciplina della chimica che studia le reazioni chimiche che si hanno quando atomi e molecole assorbono la luce), di un polimero particolare, generalmente resina liquida.

Gli elementi necessari per realizzare la SLA sono: un fascio di luce ultravioletta, un sistema di specchi, una vasca destinata a contenere il polimero liquido (resina liquida), una piattaforma-ascensore che sosterrà l'oggetto da realizzare e lo sposterà progressivamente verso il basso dopo il completamento di ogni singolo strato, un forno a luce ultravioletta e degli eventuali supporti atti a sostenere le parti dell'oggetto durante la costruzione.

Dopo aver suddiviso virtualmente la figura CAD in piani bidimensionali orizzontali, un software trasmette le informazioni ad una sorgente laser.

Il laser, tramite il sistema di specchi, colpisce il fotopolimero liquido contenuto nell'apposita vasca facendolo indurire. Una volta solido, il sottile strato formatisi è abbassato di un *layer* grazie alla piattaforma-ascensore: nuova resina liquida è esposta e pronta per essere indurita.

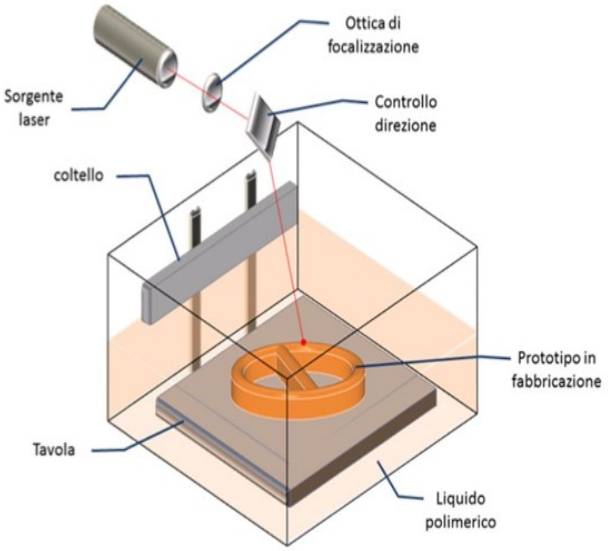


Figura 2.7: Tecnica di stampa della stereolitografia (SLA). Fonte: Università La Sapienza, Roma.

Il nuovo strato che si forma andrà a sormontare il precedente. Sarà proprio l'unione di questi strati a determinare la costruzione dell'oggetto.

Al termine della fabbricazione, il solido estratto dalla resina liquida è posto in un forno a luce ultravioletta per completare la polimerizzazione.

La SLA è usata per realizzare parti di aerei e attrezzature per la difesa militare, prototipi per l'architettura, mappe geografiche, oggetti artistici nuovi e ricreati, sistemi meccanici e di design nel settore *automotive*,

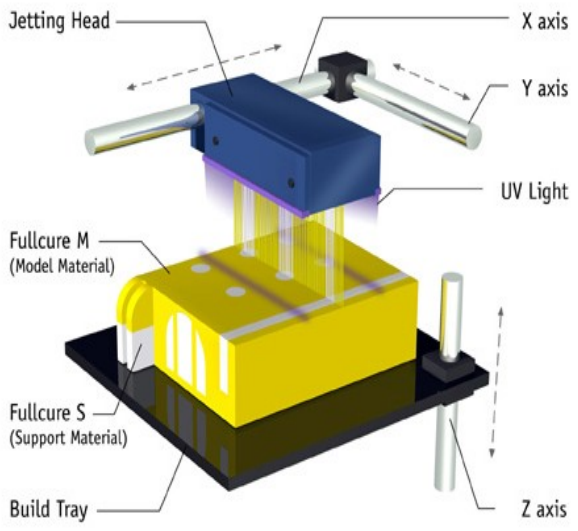


Figura 2.8: Processo di stampa con la tecnica Polijet/Multijet. Fonte: http://de.objet.com.

prototipi per i laboratori scolatici, oggetti di consumo, oggetti di gioielleria e prototipi e strumenti nel settore energetico. Un esempio di stampante che utilizza la tecnica della SLA è Projet 6000 e 7000 della 3D Systems.

Rientra nella categoria dei DLP anche la tecnologia **PolyJet/Multijet**. Questa metodologia assomiglia molto alla stampa a getto d'inchiostro 2D ma, anziché far cadere gocce di inchiostro su un foglio di carta, PolyJet/Multijet spruzza fotopolimeri liquidi su un carrello mobile. Si creano così strati sottilissimi (tra i 16 e i 30 micrometri) di materiale che, sottoposti ad un fascio di raggi UV, si asciugano velocemente e consentono all'oggetto di essere immediatamente pronto all'uso, senza bisogno di ulteriori lavorazioni. Eventuali supporti usati nella costruzione di parti complesse vengono rimossi al termine della stampa. In aggiunta ai fotopolimeri con cui viene realizzato il modello, la stampante 3D spruzza un gel come materiale di supporto per sostenere eventuali sporgenze o parti più complesse. Il gel viene rimosso poi senza difficoltà con l'acqua o con le mani.

La tecnologia PolyJet/Multijet è in grado di mettere a punto prototipi molto vicini alla realtà. Si realizzano pezzi per il settore *automotive* o protesi per il settore medicale e odontoiatrico. Grazie ai sottilissimi strati può si possono creare forme complesse, piccoli dettagli e superfici molto lisce. Un esempio di stampante che utilizza la tecnica Polijet è Objet 24 di Stratasys.

2.5.2. Estrusione

Questo metodo è comunemente conosciuto come **F*used Deposition Modeling*** (FDM) . Il FDM fu inventato nel 1988 da Scott Crump, fondatore sella nota casa produttrice di stampanti 3D Stratasys. Si iniziò a commercializzare stampanti FDM all'inizio degli anni novanta.

Figura 2.9: Oggetti realizzati con la tecnica del FDM.
Fonte: www.agendageek.it.

Dopo la scadenza del brevetto di tale tecnologia è nata una comunità di sviluppo *open-source* che ha messo a punto

delle varianti più economiche di stampanti Stratasys e ha denominato questa tecnica di stampa *Fused Filament Fabrication (FFF),* dato che il termine FDM faceva esclusivamente riferimento al brevetto Stratasys.

La FFF funziona per estrusione: del materiale plastico o della cera vengono espulsi da un ugello che costruisce i piani bidimensionali dell'oggetto strato dopo strato. Il materiale utilizzato è generalmente fornito all'ugello sotto forma di filamento; alcune macchine usano palline plastiche. La temperatura della testa di estrusione e del piano di lavoro è molto importante per la ben riuscita dell'oggetto. L'ugello contiene dei radiatori per mantenere la plastica appena sopra il suo punto di fusione: in questo modo essa può fuoriuscire e costruire lo strato facilmente. La piattaforma invece, ha una temperatura più bassa così da favorire l'indurimento della plastica appena viene depositata.

Una volta completato ciascuno strato, la piattaforma si abbassa di un *layer* e la testina di estrusione deposita un altro strato di materiale.

Lo spessore di uno strato e l'accuratezza della dimensione verticale sono determinate dal diametro del punzone di estrusione. Esso varia da 0,013 a 0,005 pollici. Nel piano X-Y, 0,001 pollici di risoluzione sono realizzabili.

Il processo non ha ripercussioni ambientali o effetti inquinanti.

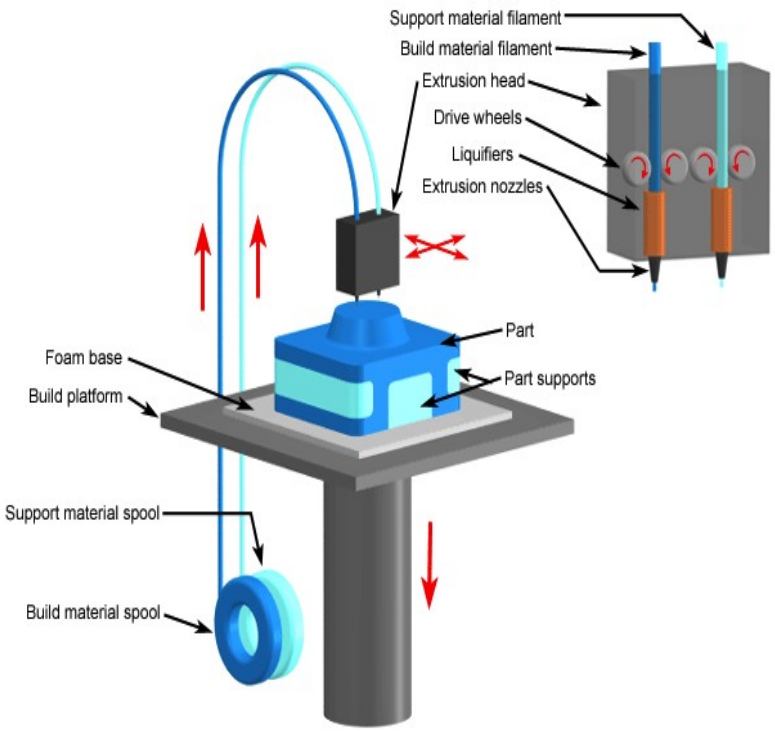


Figura 2.10: Tecnica di stampa del FDM. Fonte: www.custompartnet.com

La massima grandezza degli oggetti creati tramite sistemi FDM è 36,00x24,00x36,00 pollici. Non è richiesto alcun tipo di post-trattamento. Il FFF ha delle restrizioni sulle forme che possono essere fabbricate: le strutture che presentano delle parti cave si devono evitare o si devono

usare dei supporti che verranno eliminati una volta ultimato il processo.

La tecnologia FFF può essere usata per produrre prototipi, strutture di montaggio, attrezzature, strumenti e parti di aerei, prototipi per l'architettura, prototipi, pezzi (fanali, tappetini ecc.) e nuovi materiali per le auto, prodotti commerciali e di consumo e prototipi per la difesa militare.

Un esempio di stampante che usa il metodo FDM è MakerBot, marchio che da poco appartiene al gruppo Stratasys.

2.5.3. Unione di materiale in granuli

Il metodo più importante è il ***Selective Laser Sintering*** **(SLS)** e consiste nel fondere selettivamente il materiale in granuli.

Il SLS fu sviluppato e brevettato nella metà degli anni ottanta dal Dott. Carl Deckard e dal Dott. Joseph Beaman presso l'Università del Texas, a Austin, con un progetto sponsorizzato dal DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency).

Il SLS utilizza un laser per sinterizzare la polvere strato dopo strato. Il sistema è composto da una sorgente laser, un sistema di specchi, un sistema di controllo e una camera di lavoro in cui avviene il processo. Quest'ultima è composta a sua volta da: una piattaforma di costruzione, una cartuccia contenente il materiale in polvere e un rullo per il livellamento.

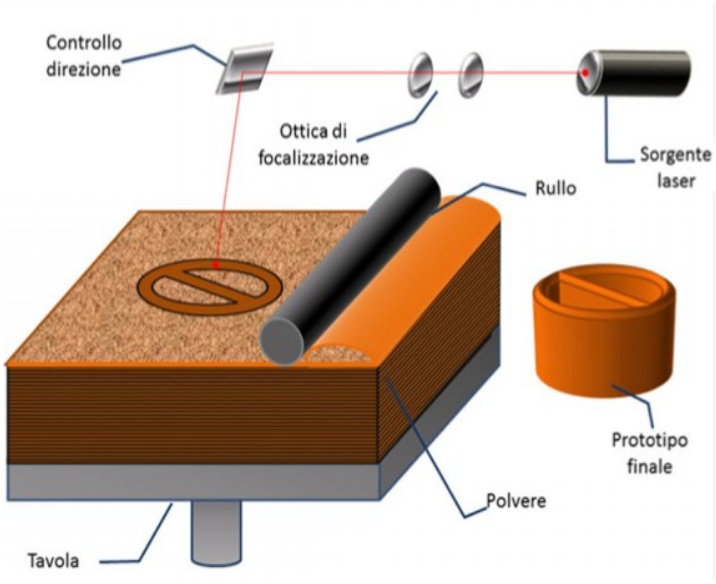


Figura 2.11: Tecnica di stampa SLS.
Fonte: Università La Sapienza, Roma.

Il processo di SLS prevede che uno strato di materiale da costruzione venga spalmato su una piattaforma e venga livellato con un rullo.

Il laser traccia una sezione orizzontale bidimensionale della parte, sinterizzando il materiale in granuli insieme. Dopo il completamento di ciascuno strato, un apposito pistone si muoverà verso il

basso e abbasserà anche lo strato appena realizzato. Nuovo materiale viene quindi fatto uscire dalla cartuccia nella quale è contenuto e fatto arrivare sulla piattaforma di costruzione, dove la nuova sezione è sinterizzata alla precedente. Questo procedimento continua finché la parte è costruita. Una volta pronto, il modello viene rimosso dalla camera e viene terminato rimuovendo il materiale di scarto e lisciando le superfici visibili. Il procedimento di SLS non necessita di strutture di supporto come la SLA e il FDM perché l'oggetto che si realizza è completamente immerso nel materiale. Il SLS è ideale per parti durature e funzionali con una varietà di applicazioni. Due produttori importanti che utilizzano il SLS sono 3D Systems e *EOS*.

Il ***Selective Laser Melting (SLM),*** detto anche *Direct Metal Laser Sintering (DMLS),* si avvale della stessa tecnica di costruzione del SLS ma, a differenza di questo, utilizza come materiali di costruzione polveri metalliche integrali ossia senza l'ausilio di bassi fondenti. Ne deriva il fatto che il laser è più potente e che al termine della lavorazione si ottiene un oggetto simile a quelli che si ottengono con la produzione in serie, senza bisogno di finiture superficiali e che può essere sottoposto tranquillamente a lavorazioni tradizionali. Per prevenire l'ossidazione dei metalli nella camera di lavoro si utilizza un'atmosfera inerte.

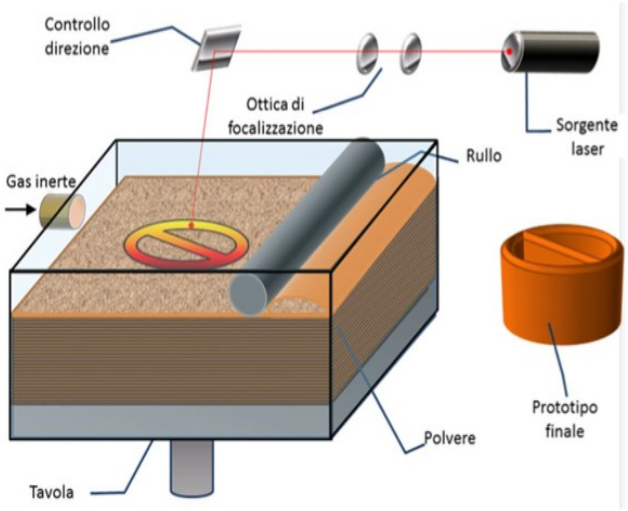


Figura 2.12: Tecnica di stampa SLM.
Fonte: Università La Sapienza, Roma.

Una nota casa produttrice di stampanti SLM è la tedesca EOS. Sia il SLS che il SLM vengono utilizzati in moltissimi ambiti tra cui quello dell'aeronautica e della difesa militare, il settore *automotive*, l'architettura, il design e il settore medicale e dentistico.

L'***Electron Beam Melting (EBM)*** è molto simile al SLM ma, differentemente da questo, per permettere una corretta focalizzazione del fascio sul piano di lavoro crea il vuoto nella camera, il che consente anche di evitare la formazione di ossidi metallici

nelle poveri. Concentrando una potenza di spot superiore a quella del laser (che si usa per il SLM), il fascio di elettroni può fondere polveri alto fondenti quali il titanio. Le parti così create sono ad alta densità, senza spazio e molto forti. L'EBM è diffuso soprattutto nel settore aerospaziale, aeronautico e biomedicale. In particolare questa tecnica è usata per la costruzione di protesi biomediche in titanio (polveri ad alta compatibilità biomedica). Un noto produttore svedese di stampanti EBM è Arcam.

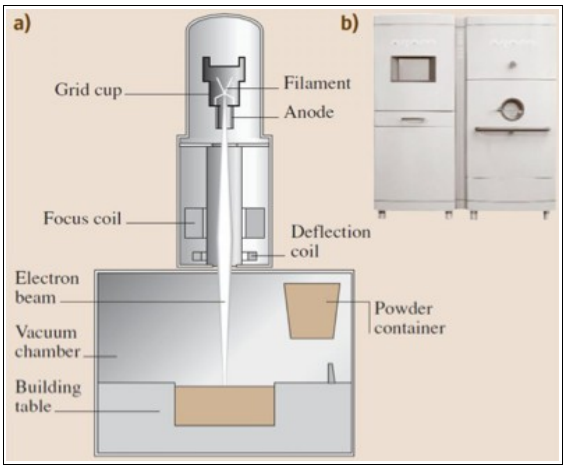


Figura 2.13: Tecnica di stampa EBM.
Fonte: Università la Sapienza, Roma.

Si annovera tra le tecniche di stampa 3D che utilizzano materiali in granuli anche la **stampa a getto d'inchiostro.** Le stampanti *Inkjet* stanno avendo un discreto successo nel panorama delle stampanti 3D grazie ai vantaggi in termini di tempo, costo e facilità d'uso che presentano. Il modello viene costruito uno strato alla volta. Il materiale viene disteso sulla piattaforma di costruzione e livellato con un apposito rullo. A differenza del metodo SLS, le polveri non vengono sinterizzate bensì legate con un liquido adesivo erogato da un'apposita testina. Come con le altre tecniche di produzione, lo strato appena realizzato viene abbassato e il procedimento si ripete fintanto che l'oggetto è completo. Le stampanti a getto d'inchiostro sono usate soprattutto da designer, ingegneri ed architetti. La società 3D Systems ha recentemente creato una linea di stampanti a getto d'inchiostro innovativa, chiamata Z Printer.

2.5.4. Struttura laminare

La tecnica del ***Laminated Object Manufacturing (LOM)*** consiste nel laminare e depositare insieme fogli di di carta, plastica o metallo impregnati con una colla adesiva al diossido di carbonio.

Un meccanismo trascina i fogli di carta sulla piattaforma di lavoro e un apposito rullo riscaldato incolla la carta sul supporto. In seguito, una testa laser taglia i contorni della sezione e di un un profilo rettangolare che viene usato per il supporto.

La piattaforma quindi si abbassa di un *layer* ed il processo continua fino a terminare l'oggetto. Sono necessari dei trattamenti post-produzione come la finitura con carta abrasiva e il trattamento di impermeabilizzazione per prevenire ed evitare il distacco degli strati. Con questo metodo di produzione è possibile creare prototipi, modelli o stampi. Cubic Technologies è un famoso produttore di stampanti di tipo LOM.

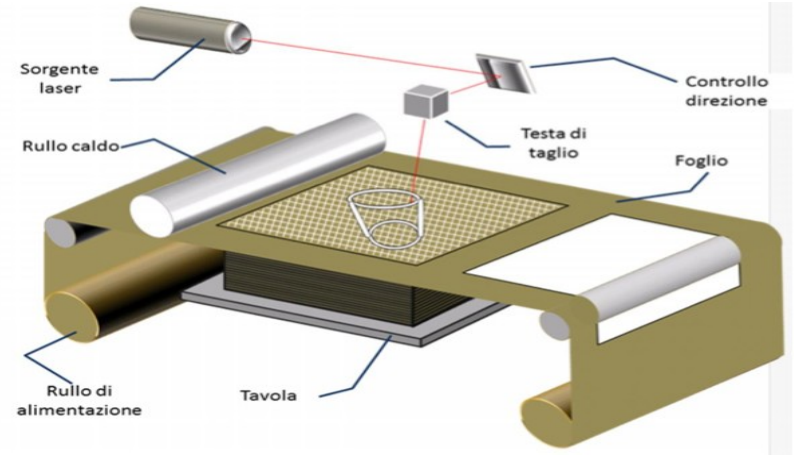


Figura 2.14: Tecnica di stampa LOM. Fonte: Università La Sapienza, Roma.

2.6. I materiali

Molte persone si chiederanno a questo punto quali tipi di materiali possono essere usati per creare e dare la forma a degli oggetti attraverso una stampante 3D. I materiali sono molti e variano a seconda dell'oggetto che si intende realizzare.

Materiali morbidi sono il nylon, la cera e le resine. Materiali più duri invece possono essere il titanio, l'acciaio inossidabile, l'oro e l'argento.

Il materiale più comune di tutti è sicuramente la plastica, che può assumere diversa gradazione a seconda della necessità. La plastica ABS (acrilontile-butadiene-stirene) si presta ad essere utilizzata sia ad iniezione che ad estrusione. La temperatura per l'estrusione è di (240-250°C). Le sue caratteristiche la rendono adeguata per la realizzazione di parti piccole o per creare prodotti resistenti agli urti e all'usura. Con la plastica ABS sono realizzati, ad esempio, i blocchi dei Lego.

Il PLA (acido polilattico), invece, è un biopolimero completamente biodegradabile perché composto da amido di mais. Fonde ad una temperatura più bassa (180-220°) e, rispetto all'ABS, con tale materiale è possibile avere molti più colori ed una maggiore

elasticità grazie alle quali si ottengono oggetti come molle o simili.
Ciascuna tecnica di produzione ha i suoi lati positivi e negativi e molte compagnie offrono una scelta nel materiale con cui l'oggetto dev'essere costruito.
Uno dei principali fattori che si devono prendere in considerazione per l'acquisto di una stampante è sicuramente la scelta dei materiali che possono essere utilizzati, oltre al costo del macchinario, al costo per la stampa del prototipo e alla capacità di usare diversi colori. Nella tabella che segue sono stati elencati i materiali utilizzati per la stampa 3D, classificati a seconda delle diverse tecniche produttive.

Tecnica di produzione	Metodo	Materiali
Digital Light Processing (DLP)	SLA	fotopolimero
	PolyJet/Multijet	fotopolimero
Estrusione	FFF	termoplastica (PLA, ABS), poletilene ad alta densità (HDPE), metalli, materiali edibili
Unione di materiale in granuli	SLS	termoplastica,polvere di metallo, polvere di ceramica
	SLM	acciaio inossidabile, cromo cobalto, inconel 625 e 718 e titanio
	EBM	quasi tutte le leghe di metallo, in particolare titanio
	Inkjet	gesso, resine
Struttura laminare	LOM	carta, alluminio, pellicola di plastica

Tabella 2.1: Materiali utilizzati per la stampa 3D classificati a seconda delle diverse tecniche produttive. Fonte: Università La Sapienza di Roma.

2.7. I maggiori paesi produttori di stampanti 3D

Per avere una panoramica completa sulle stampanti 3D è opportuno conoscere anche le aree geografiche nelle quali sono dislocati i principali produttori. É importante tenere conto che i dati inseriti fanno riferimento al numero di produttori di stampanti 3D e non alla quantità di stampanti prodotte nelle varie zone geografiche.
La *Tabella 2.2* riporta il numero di case produttrici situate nei diversi continenti.

Continente	N° di case produttrici	% di case produttrici
America	30	41%
Asia	14	19%
Europa	30	41%

Tabella 2.2: É riportato il numero e la percentuale di case produttrici di stampanti 3D presenti in America, Asia e Europa. Fonte: www.3ders.org.

Come si può osservare, le uniche tre aree continentali attive nella produzione di stampanti 3D sono America, Asia e Europa. L'America e l'Europa presentano entrambe una percentuale del 41%, mentre l'Asia registra il 19%, meno della metà delle prime due. Se fossero disponibili dati relativi alla quantità di stampanti prodotte si potrebbe avere una quadro generale della situazione più completo: per esempio si potrebbe scoprire che l'Asia è il continente che fabbrica il numero più alto di stampanti 3D.
In assenza di tali informazioni si spiegano ora i motivi probabili che hanno spinto una maggiore diffusione di questa tecnologia in America e in Europa.
Innanzitutto, i motivi possono essere legati a **ragioni storiche**. Tra la fine degli anni ottanta e i primi anni novanta, periodo relativo alla scoperta e allo sviluppo del *3D printing*, le nazioni economicamente più floride si trovano nell'America del Nord e in Europa: sono paesi come gli USA, il Canada, la Spagna, la Francia, la Germania, l'Italia e la Russia a determinare le sorti del mondo in quel periodo.
Strettamente connessa con la potenza economica dei vari paesi è la capacità di insediare centri di ricerca e sviluppo. Si parla dunque di **ragioni** legate allo **sviluppo tecnologico.** Più sono elevati i capitali a disposizione di un paese e più questo è incentivato ad investire in attività di ricerca e sviluppo. Queste attività, importantissime per il progresso tecnologico, vengono spesso sottovalutate e minimizzate dai governi locali perché non ritenute necessarie. La verità è che la ricerca innesca un circolo di conseguenze che possono essere determinanti per la ricchezza di un paese. Lo studio e la ricerca, finanziati sia da enti pubblici che da enti privati, consentono di mettere a punto tecniche produttive nuove che, a loro volta, riducono i tempi necessari per compiere operazioni industriali e ne aumentano l'efficienza. Con il progressivo aumento della produttività delle imprese cresce anche il PIL e le finanze statali diventano più floride.

Gli USA vengono annoverati tra i paesi con il maggior numero di centri di ricerca e sviluppo a livello mondiale. Promuovere il progresso tecnologico è importante soprattutto nella fase iniziale della crescita di una certa tecnologia, quando le caratteristiche tecniche e i dettagli devono essere indagati e specificati. Grazie alla disponibilità di spazi dedicati allo studio e alla ricerca, molte tecniche di produzione di stampa 3D sono state messe a punto proprio negli USA.

All'inizio degli anni ottanta gli USA furono i primi a testare lo sviluppo e la commercializzazione dei sistemi di manifattura additiva; sforzi significativi in quest'area furono tuttavia intrapresi anche da Europa e Giappone. Tra i benefici più importanti della produzione additiva vi era la capacità di creare modelli con forme anche molto complesse. All'inizio degli anni duemila si riscontra che:

1. gli USA sono avanti per quanto riguarda le innovazioni tecniche, i materiali e le applicazioni manifatturiere della produzione additiva;
2. nel settore della progettazione delle macchine gli USA sono in una situazione di parità con Europa e Giappone;
3. nella prototipazione rapida per le applicazioni medicali, gli sforzi degli USA sono meno sviluppati di quelli di Europa e Giappone;
4. la Germania e il Giappone hanno implementato un numero elevato di programmi domestici per creare un infrastruttura di tecnologie RP strategiche.

Infine, si possono ricondurre anche delle **ragioni territoriali**. I luoghi in cui si sono insediati i primi produttori corrispondono a quelli statunitensi ed europei. Le prime società, 3D Systems e Stratasys, sono state fondate rispettivamente in California e in Minnesota. In Europa, tra i primi produttori troviamo EOS, fondata in Germania, e Arcam, situata in Svezia. Le imprese che si sono sviluppate più avanti hanno continuato a diffondersi negli USA e in Europa.

Nella pagina successiva è stato riportato un grafico a torta nel quale si osserva la percentuale di produttori di stampanti 3D presenti in uno stato. In questo modo è possibile avere un'idea più precisa di quali stati siano più o meno attivi nel 3D printing all'interno di un continente.

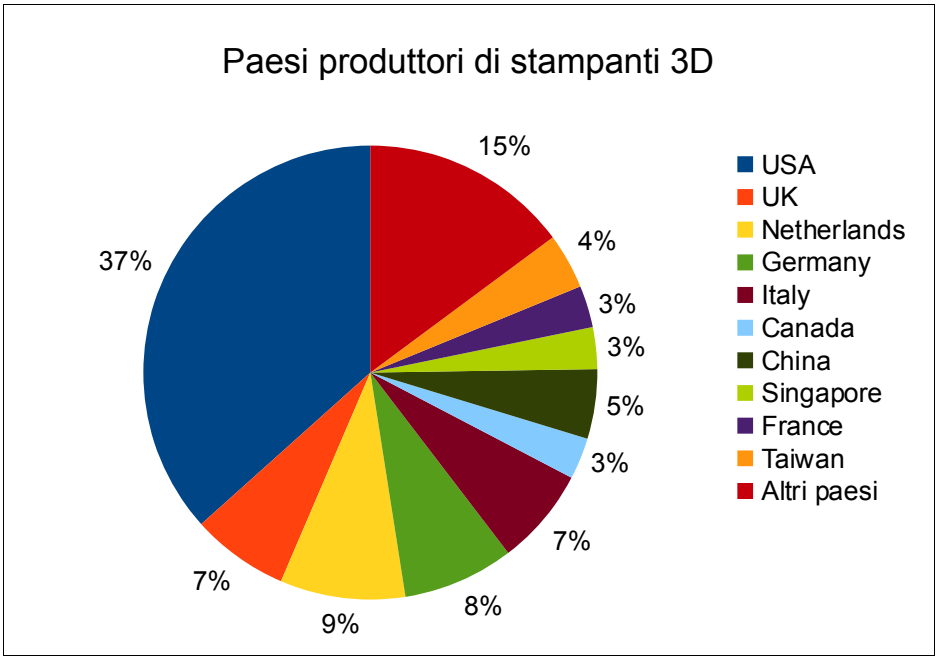


Figura 2.15: Grafico a torta che riporta il numero in percentuale delle principali case produttrici di stampanti 3D raggruppate per nazione di appartenenza. Fonte: www.3ders.org.

È inevitabile non notare la grossa fetta di torta detenuta dagli USA, che riportano il numero più alto di case produttrici, corrispondente al 37% del totale. Forte è il distacco nei confronti degli altri paesi, che registrano percentuali notevolmente più basse.

I Paesi Bassi (*Netherlands*) sono il secondo paese nella classifica mondiale con il 9% delle imprese produttrici, la Germania guadagna una terza posizione con l'8% mentre l'Italia e il Regno Unito si attestano al terzo posto con il 7%. Nelle ultime posizioni della classifica, con percentuali più basse, troviamo la Cina con il 5%, Taiwan con il 4% e la Francia, Singapore e il Canada con il 3%. Nella categoria "Altri paesi" sono state raggruppate tutte le nazioni che hanno una percentuale del 1% e queste sono: Brazil, Cyrus, Denmark, Finland, Hong Kong, India, Japan, Korea, Poland, South Korea, Spain.

L'Italia si colloca in una posizione intermedia con ben cinque case produttrici di stampanti 3D, allo stesso livello del Regno Unito. Mentre negli USA la ricerca è finanziata prevalentemente dalle grandi imprese private, in Italia sono i capitoli di spesa pubblica quelli che forniscono fondi alla ricerca. Negli anni però, lo stivale non si è dimostrato tra i paesi più virtuosi in termini di R&D: anche per questo motivo la produttività italiana è diminuita molto. Nonostante questa serie di problematiche, è un

segno positivo constatare la presenza di imprese impegnate in settori tecnologicamente avanzati e all'avanguardia come quello delle stampanti 3D.

2.8. Il prezzo

In questo paragrafo viene proposto un confronto tra i prezzi delle stampanti 3D. Le tabelle che seguono nelle prossime pagine presentano, sull'asse verticale, la lista dei 21 stati in cui sono collocati i principali produttori. Sull'asse orizzontale invece, in rosso, sono riportate le fasce di prezzo dei modelli di stampanti. Ciascuna fascia di prezzo può essere ulteriormente suddivisa in base alle diverse tecniche di produzione (FFF, SDM, SLA, DLP ecc.). Alcune fasce riportano una sola tecnica: ciò significa che in quell'intervallo di prezzo tutti i produttori di stampanti 3D riportati utilizzano la stessa tecnica produttiva. Per esempio, si prenda in considerazione la casella evidenziata nella *Tabella 2.3*: si evince che le marche Store Open Electronics, Ac123Dc, ShareBot e WASP Project, prodotte in Italia, producono almeno un modello di stampante 3D che utilizza la tecnica del *Fused Filament Fabrication* che rientra in un intervallo di prezzo che va dagli $801 ai $1.000.

Nella *Tabella 2.3* sono riassunte le case produttrici che realizzano stampanti fino ad un valore di $1.600, nella *Tabella 2.4* sono elencati i produttori di stampanti con un prezzo che arriva fino a $3.000 mentre la *Tabella 2.5* arriva al prezzo massimo di $25.000.

I modelli di stampanti qui riportati non sono utilizzati a fini industriali: in ambito industriale i macchinari hanno un valore notevolmente superiore, che supera molto i 25.000 dollari.

Quando si pensa alla novità della tecnologia 3D non si immagina una così grande quantità di modelli di stampanti 3D con prezzi inferiori a 3.000 dollari. Nella tabelle invece, si può chiaramente notare che in molti paesi la maggior parte dei modelli sono concentrati in una fascia di prezzo che va dai duecento ai tremila dollari. Uno tra questi paesi sono gli USA, con una concentrazione ad alta intensità di modelli che va fino a $1.600, con la presenza del solo produttore Asiga tra i $5.000 e gli $8.000 e con Asiga e Soliscape nella fascia di prezzo più elevata, quella che giunge sino a 25.000 dollari. Il Regno Unito ha cinque case produttrici con prezzi inferiori a 5.000 dollari, i Paesi Bassi coprono tutte le fasce di prezzo dai 1.000 agli 8.000 dollari mentre la Germania, con la

sua German RepRap, parte dagli 800 dollari e termina con il produttore EnvisionTEC, situato nella fascia più alta.

3D PRINTERS PRICES	$200-$400	$401-$600	$601-$800	$801-$1000	$1001-$1200	$1201-$1400	$1401-$1600
	FFF	FFF	FFF	FFF	FFF	FFF	FFF
USA	Printrbot	Printrbot Invent Apart Solidoodle Robo 3D Eventorbot	Printrbot NW RepRap Solidoodle Ultra-Bot Makergear	Deezmaker Invent Apart Tantillus QU-BD SeeMeCNC	Deezmaker	Airwolf 3D Cubify Hyrel 3D Type A Machines	Makergear Maker's Tool Works Deezmaker Afinia Printrbot Tantillus
UK		Sumpod	RepRapPro		Sumpod RepRap Pro	Bits from Bytes	Bits from Bytes
Netherlands					Mendel Parts Felix Printers		Builder Ultimaker Shop
Germany				German RepRap	iRapid	Reprapsource	
Italy				Store Open Electr. Ac123Dc ShareBot WASP Project	Ac123Dc		
Canada		Mixshop		Tinkerine Studio		Tinkerine Studio	Tinkerine Studio
India			Makemendel			Makemendel	
China				PP3DP Mbot 3D	Mbot 3D		Weistek PP3DP
Singapore	Pirate 3D	Portabee		Portabee			
France		RepRap	RepRap				
Taiwan				IntelligentMachine Inc.			
Hong Kong	Makible						
South Korea					BatBot		
Poland							
Spain			3D Kids				
Korea			WillyBot Cafè				
Finland					miniFactory		
Japan							
Brazil							
Cyrus							
Denmark							

Tabella 2.3: Prezzi delle stampanti 3D dall'intervallo $200-$400 all'intervallo $1401-$ 1600, suddivisi a seconda dello stato di appartenenza del produttore e della tecnica produttiva. Fonte: www.3ders.org.

3D PRINTERS PRICES	$1601-$1800		$1801-$2000	$2001-$3000		
	FFF	SDM	FFF	FFF	SLA	DLP
USA	Hyrel 3D Airwolf 3D Lulzbot Makerbot		Hyrel 3D Airwolf 3D	The Future is-3D TrinityLabs Makerbot Hyrel 3D Airwolf 3D Fablicator		B9 Creations
UK	A1 Technologies York 3D Printers		Bits from Bytes	Bits from Bytes York 3D Printers		
Netherlands	Leapfrog			MaukCC		
Germany		Fabbster		German RepRap		
Italy						
Canada						
India						
China						
Singapore						
France	Extru3D			Extru3D		
Taiwan					MiiCraft	
Hong Kong						
South Korea	BatBot					
Poland				CB-Printer		
Spain						
Korea						
Finland						
Japan	Hot Proceed, Inc					
Brazil			Metamáquina			
Cyrus						
Denmark						

Tabella 2.4: Prezzi delle stampanti 3D dall'intervallo $1601-$1800 all'intervallo $2001-$3000 suddivisi a seconda dello stato di appartenenza del produttore e della tecnica produttiva. Fonte: www.3ders.org.

3D PRINTERS PRICES	$3001-$5000				$5001-$8000				$8001-$25000			
	FFF	SLA	DLP	CNC machine	FFF	SLA	DLP	SS	SHS	SS	DLP	SCP
USA	Hyrel 3D The Future is 3-D	Formlabs	B9 Creations					Asiga		Asiga		Solidscape
UK	Sumpod Bits from Bytes											
Netherlands	Plastic Webshop				LeapFrog							
Germany					KühlingKühling GermanRepRap						envisionTEC	
Italy				Robot Factory			RobotFactory					
Canada												
India												
China	Zbot											
Singapore												
France												
Taiwan	EZ 3D Printers											
Hong Kong												
South Korea												
Poland												
Spain												
Korea												
Finland												
Japan												
Brazil												
Cyrus		Open Source Romote Control										
Denmark									Blue Printer			

Tabella 2.5: Prezzi delle stampanti 3D dall'intervallo $3001-$5000 all'intervallo $8001- $25000, suddivisi a seconda dello stato di appartenenza del produttore e della tecnica produttiva. Fonte: www.3ders.org.

Degna di nota è la situazione dell'Italia che annovera cinque case produttrici di cui tre sono attive solo nella fascia tra gli 801 e 1.000 dollari, Ac123Dc è presente sia nella

fascia appena descritta sia in quella che arriva fino a 1.200 dollari; infine, RobotFactory presenta uno standard molto più elevato perché produce modelli tra i 3.000 e gli 8.000 dollari.
Il Canada, con i suoi Mixshop e Tinkerine Studio, presenta modelli con prezzi inferiori a 1.400 dollari; la Cina, con le sue case produttrici, si mantiene su prezzi bassi ed eccelle con Zbot, aggiudicandosi l'intervallo dai $3.000 ai $5.000. Singapore produce stampanti abbastanza economiche: la più costosa ha un valore inferiore ai mille dollari. Per concludere, è opportuno menzionare la Francia, che si mantiene su fasce medio-basse di prezzo, e Taiwan che con EZ 3D Printers arriva anche a prezzi più elevati.
Se si intende effettuare un'analisi dei prezzi prendendo in considerazione la tecnica con la quale si realizzano gli oggetti anziché il paese di appartenenza, la situazione si può sintetizzare così:

- *FFF, Fused Filament Fabrication:* è sicuramente la metodologia più diffusa ed utilizzata per le fasce di prezzo più basse. Tecnica scoperta e registrata dalla casa produttrice Stratasys come *Fused Deposition Modeling (FDM),* molti anni dopo venne battezzata dalla RepRap come *Fused Filament Fabrication (FFF),* per non avere costrizioni di tipo legale;
- *SLA, Stereolithography:* utilizz*a*ta da MiiCraft (Taiwan), FormLabs (USA) e Open Source Remote Control (Cyrus);
- DLP, Digital Light Processing: adoperata da B9 Creations (USA) e EnvionTEC (Germania);
- *SDM, Shape Deposition Manufacturing:* è una tecnica di prototipazione rapida in fase di sviluppo, adottata da Fabbster (Germania). Prevede che le fasi di fabbricazione e assemblaggio avvengano contemporaneamente;
- *CNC router:* macchina che incide figure su legno e metallo, controllata da un computer. Viene usata da RobotFactory (Italia) e MaukCC (Paesi Bassi);
- *SS, Sliding Separation:* tecnica brevettata dal produttore Asiga (USA), utilizza una sorgente luce LED UV duratura e non facilmente consumabile come in altri sistemi. Questo permette di allargare la gamma di materiali utilizzabili, includendo quelli di un bianco puro;

- *SHS, Selective Heat Sintering:* utilizzata dal produttore Blue Printer (Danimarca) prevede l'impiego di una testina di stampa termica (al posto del laser nel SLS) che ha il compito di riscaldare la polvere termoplastica nella camera di costruzione;
- *SCP, Smooth Curvature Printing,* marchio commerciale registrato di Solidscape (USA) per un algoritmo vettoriale basato sulla tecnologia di controllo del movimento.

2.9. La *Digital Fabrication*

Con l'invenzione e l'approfondimento del 3D printing si è anche raggiunto un traguardo importante nella corrente della Fabbricazione Digitale.

La *Digital Fabrication,* o *fabbing*, fa riferimento al processo attraverso il quale vengono creati oggetti tridimensionali a partire da file digitali. Più che essere un'innovazione tecnologica essa può funzionare come scintilla per le invenzioni di centinaia di creativi. La prototipazione rapida, tecnica industriale molto diffusa che consiste nel realizzare il cosiddetto prototipo, il modello, il primo elemento di una serie industriale, è la progenitrice della D*igital Fabrication*.

Vectorialism è un'azienda nata a Milano nel 2011 che offre un servizio di D*igital Fabrication* innovativo e rapido il cui *core business* è la produzione di oggetti in plastica e legno attraverso un grande macchinario chiamato *laser cutter*. Il nome stesso, Vectorialism, spiega cosa accade in laboratorio: si passa da un file vettoriale ad un oggetto solido tridimensionale reale e tangibile. Fondato sull'esempio di quelli già presenti negli Stati Uniti e a Berlino, questo laboratorio si avvale di una piattaforma innovativa chiamata Ponoko che permette di gestire il processo on-line. Il laboratorio vero e proprio, inizialmente progettato solo per essere un'appendice del sito,

Progetta e realizza i tuoi oggetti
con la personal factory Vectorealism
Ti basta un disegno vettoriale
• Nessun costo di impianto
• Catalogo materiali online
• Nessun ordine minimo
• Spedizione in 10 giorni o
• Preventivi immediati
• Ritiro gratuito a Milano
Inizia da qui ›
Figura 2.16: Pagina iniziale di Vectorialism. Fonte: www.vectorealism.com.

divenne centro di riunioni, brainstorming e punto di riferimento per la comunità di fabbers milanesi. Gli utenti possono chiedere, tramite la piattaforma, di creare progetti i cui file sono facilmente reperibili in rete. Ad esempio, si possono stampare pezzi di stampanti 3D del tipo RepRap.

Tra le tecniche più utilizzate di *Digital Fabrication* ci sono quelle sia di tipo additivo, come la stampa 3D, sia quelle di tipo sottrattivo, come la produzione laser e la fresatura.

La "*Personal Fabrication*", così battezzata da alcuni osservatori italiani e internazionali, è un *trend* recente che si caratterizza per l'utilizzazione del *fabbing* da parte di un'utenza non professionale. Questo si verifica grazie alla facilità dei software da utilizzare e alla semplicità ed economicità dei macchinari. I makers, di cui si parlerà nel prossimo capitolo, sono una corrente sviluppata in tutto il mondo che si basa sul concetto di *Personal Fabrication*.

Figura 2.17: Ukulele progettato da Brian Chain e realizzato con la stampa 3D da Vectorialism. Fonte: www.vectorialism.com.

2.10 Conclusioni

Il settore della stampa 3d è un ambito in continuo movimento e non ancora del tutto esplorato. Le tecniche di produzione già esistenti vengono perfezionate giorno dopo giorno perché possano essere più competitive ma, allo stesso tempo, si studiano metodi produttivi nuovi, come dimostrato ad esempio dalla tecnica *Shape Deposition Manufacturing (SDM)* usata da Fabbster in Germania. La stampa 3D può assolvere a funzioni tra le più disparate e sono molte quelle che oggi non si conoscono ancora. L'obiettivo per il futuro è quello di scoprire le potenzialità della stampa additiva.

Dopo aver studiato le origini storiche, l'evoluzione, il processo e le tecniche di produzione della stampa 3D, si possiede ora un quadro più dettagliato e completo da cui partire: senza queste conoscenze preliminari può risultare parzialmente difficoltosa la comprensione di alcune parti dell'analisi più approfondita che seguirà nei prossimi capitoli.

Capitolo 3:
Le dinamiche innovative nel settore della stampa 3D

Introduzione

Questo capitolo si propone di esaminare le stampanti 3D dal punto di vista innovativo. Definire il tipo di innovazione può essere indicativo per capire la portata di un fenomeno. Il giusto timing d'entrata nel mercato può determinare il posto che una tecnologia occuperà in futuro nel mercato e quanto riuscirà ad imporsi rispetto ai concorrenti. Dopo aver descritto i *first mover*, si passa all'analisi delle imprese *follower* di successo che hanno reso il *3D printing* accessibile al grande pubblico grazie ai loro modelli economici innovativi. Si conclude il capitolo con un riferimento a strutture come i Makerfaire e i Fablab, centri di ricerca e di innovazione che si servono di strumenti all'avanguardia come le stampanti 3D.

3.1. La forma innovativa del 3D printing

In questo paragrafo si definisce il *3D printing* in base alle dimensioni generalmente utilizzate per classificare le innovazioni tecnologiche. Spesso si tende ad inquadrare rigidamente un'innovazione all'interno di una sola categoria anche se di fatto presenta le caratteristiche di più tipologie.

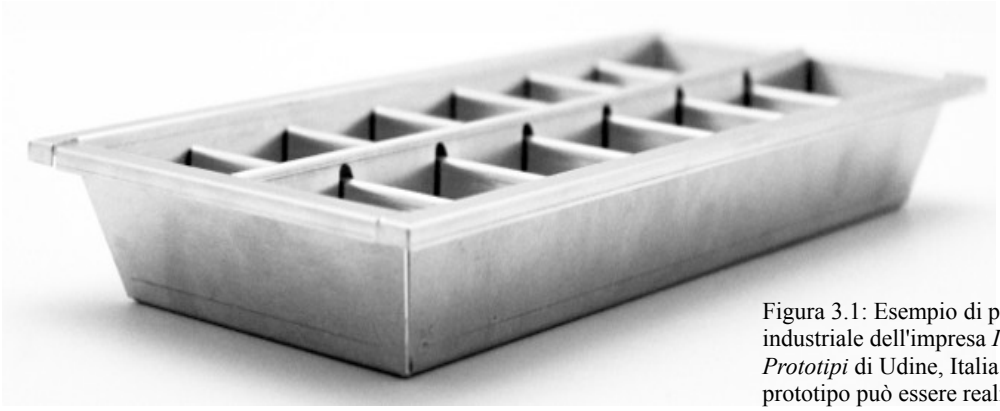


Figura 3.1: Esempio di prototipo industriale dell'impresa *Idea Prototipi* di Udine, Italia. Lo stesso prototipo può essere realizzato mediante stampa 3D.
Fonte: www.ideaprototipi.it.

La prima dimensione è la natura dell'innovazione. Le stampanti 3d sono i**nnovazioni di prodotto**. Questa tipologia di innovazione tecnica è incorporata nei beni e nei servizi venduti dall'impresa e si realizza nel momento della sua introduzione in commercio. Prima degli anni ottanta non esisteva un tipo di macchinario con caratteristiche simili a quelle che presentano le stampanti 3D. Questo tipo di apparato produttivo è del tutto nuovo e la sua uscita nel mercato destò clamore generale tra il grande pubblico.

Spesso le innovazioni di prodotto sono collegate con le innovazioni di processo. Oltre a costituire un nuovo tipo di bene venduto nel mercato, le stampanti 3D hanno apportato delle modifiche anche ai metodi produttivi. Esse sono **innovazioni di processo** perché hanno cambiato la tecnica di produzione di beni che precedentemente venivano eseguiti con metodi tradizionali. La costruzione di prototipi, ad esempio, si otteneva con lavorazioni complesse o artigianali, al fine di ottenere un lavoro ben fatto e funzionale. Quando i prototipi sono molto costosi da realizzare si costruiscono solamente modelli virtuali, ovvero dei disegni 3D a computer (anche in movimento se si vuole).

La stampa 3D porta dei grossi vantaggi nell'ambito della prototipazione rapida perché consente di realizzare in poco tempo un modello tanto dettagliato quanto quello realizzato artigianalmente. Inoltre, il costo per la sua realizzazione è basso anche se bisogna stare attenti al tipo di materiale utilizzato perché rappresenta una delle maggiori determinanti di costo.

La seconda dimensione è quella dell'intensità e dell'ampiezza dell'innovazione, ovvero la differenza con i prodotti e le tecniche esistenti. Il *3D printing* presenta caratteristiche completamente nuove, diverse dai processi produttivi già conosciuti: per questo motivo si dice un'**innovazione di tipo radicale.**

Erroneamente, si può definire il *3D printing* come innovazione incrementale delle stampanti 2D. Tuttavia, la differenza con le tecniche di stampa sui fogli di carta è sostanziale: la stampa 3D si occupa della creazione totale di un prodotto e non della stampa di immagini o di un testo su carta. Questa nuova tecnica differisce molto anche dai metodi di produzione tradizionali, dato che la costruzione del prodotto non avviene attraverso delle fasi di lavorazione industriale bensì con un unico macchinario in un solo processo.

Infine, le stampanti 3D possono essere definite come **innovazioni architetturali**: si ha

un cambiamento generale della struttura e del modo in cui tradizionalmente venivano fabbricati i prodotti. Per esempio, la produzione industriale prevede la creazione di uno stampo per fabbricare i beni in serie. Lo stampo è una matrice molto costosa che serve a dare la forma finale al materiale o al pezzo da lavorare. Oggi, è stato dimostrato che la produzione di un numero limitato di unità può essere effettuata tramite la stampa 3D.

Figura 3.2: Stampo di flaconi ad uso cosmetico dell'impresa Parison di Correggio (RE), Italia. Fonte: www.parison.it

3.2. La curva a S del miglioramento e della diffusione delle stampanti 3D

Con la **curva a S del miglioramento tecnologico** si pone a confronto la performance e il volume di investimenti di una determinata tecnologia. Di norma, il *trend* delle innovazioni è caratterizzato da un andamento comune: una fase iniziale più lenta, un progressivo miglioramento durante la fase di sviluppo e una decrescita nella fase finale.
Dagli anni ottanta agli anni duemila il *3D printing* ha vissuto una **fase embrionale**. Durante questo periodo di tempo i miglioramenti sono stati lenti e graduali perché i principi su cui si fondava erano ancora incerti e compresi parzialmente. Le energie degli esperti erano dirette allo studio dei vari processi produttivi e dei materiali da utilizzare. Secondo i dati riportati nel Wohlers[27] Report 2012 e 2013 le stampanti 3D stanno attualmente vivendo una **fase di crescita**.

27 Wohler Associates Inc.: impresa di consulenza fondata 27 anni fa a Fort Collins, Colorado. La compagnia fornisce consultazioni tecniche e strategiche sulle tendenze nello sviluppo rapido di prodotti e sull'*additive manufacturing*.

Si stima che il progresso tecnologico futuro permetterà di ridurre i tempi di produzione degli oggetti fabbricati con le stampanti 3D: è necessario più che dimezzare i tempi attuali. Con una maggiore pratica e un grado esperienza più elevato si è giunti a una conoscenza più approfondita e un miglioramento più rapido della tecnologia. Nella fase di crescita, l'attenzione delle imprese è posta su quelle attività che generano miglioramenti a parità di sforzo organizzativo, garantendo un aumento delle performance. Per esempio, dopo il deposito del brevetto del FDM, Scott Crump iniziò a sperimentare diversi tipi di materiale per il funzionamento di questa tecnica produttiva e contribuì alla messa a punto della plastica ABS. Come si può vedere nella Figura 3.3, la quota parte di prodotto finito realizzabile tramite *additive manufacturing* presenta un *trend* positivo.

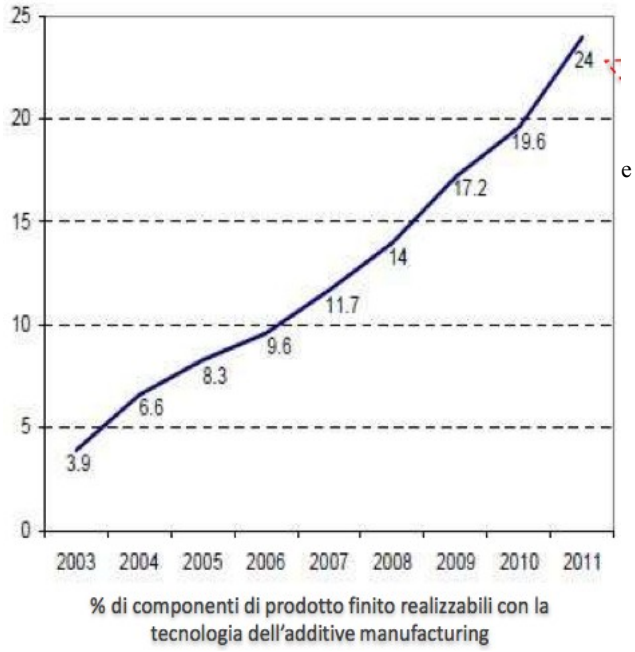


Figura 3.3: Trend della quota parte di prodotto finito realizzabile tramite AM tra il 2003 e il 2011. Fonte: Wohlers Report 2012.

Dal 2003 al 2011 l'andamento ha subito una crescita costante:

i dati dimostrano un aumento particolarmente rilevante soprattutto a partire dal 2008: tra il 2010 e il 2011 si è passati dal 19,6% al 24%, registrando uno scatto di più di quattro punti percentuali. Secondo il Wohlers Report, la quota parte di componenti sarà destinata a crescere ancora, raggiungendo il 50% nel 2016 e l'80% nel 2020. Ciò significa che nell'arco di sette anni la percentuale aumenterà del 56%, un dato sorprendente se si pensa che nei precedenti sette anni, dal 2004 al 2011, questo *trend* è cresciuto meno della metà, solo del 17,4%. Secondo quanto sostiene la società Gartner[28], le aspettative sono molto rilevanti e potenzialmente dirompenti, ma l'impatto sarà ridimensionato nei prossimi anni. Ci sarà una fase di disillusione delle aspettative riposte nella stampa 3D.

28 Gartner Inc.: fondata nel 1979 a Stamford, Connecticut, è la compagnia consultiva e di ricerca tecnologica più importante al mondo.

Sempre sulla base delle analisi di Gartner è stato stimato che la tecnologia raggiungerà la **fase di maturità** tra cinque-dieci anni, nel medio-lungo periodo. Durante questa fase iniziano a prevalere alcuni standard efficienti della tecnologia e i margini per il miglioramento si ridurranno. Solitamente in questa fase l'andamento di un certo prodotto dipende sempre meno dall'affinamento della tecnologia. Le perplessità maggiori che impegnano gli studiosi di *3D printing* sono le possibili destinazioni d'uso delle stampanti 3D. Molti sostengono che il *3D printing* avrà successo solo nell'ambito della prototipazione rapida ma, in realtà, solo dopo aver esaminato le potenzialità di questa fiorente tecnologia si capisce che non sono ancora state scoperte tutte le funzionalità della stessa. Tuttavia, è anche vero che dev'essere ancora individuato un settore specifico di applicazione, qualora ne esistesse uno particolare.

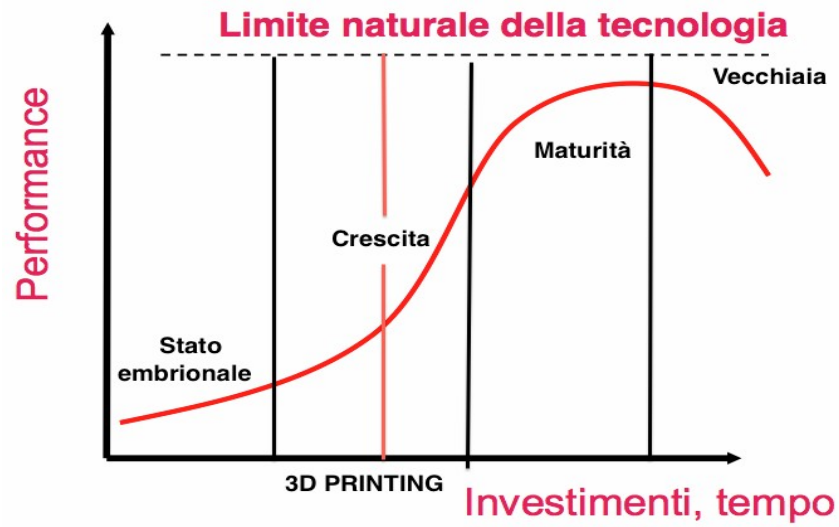


Figura 3.4: Curva a S del miglioramento della stampa 3D. Fonte: Wohlers Report 2012.

Sulla base dei dati delle vendite del Wohlers Report anche la **curva della diffusione delle stampanti 3D** professionali sembra avere un andamento a S. La fase iniziale per il *3D printing* corrisponde con gli anni novanta: vi era poca conoscenza della tecnologia e un numero di adottanti basso. A partire dagli anni duemila si può ritenere iniziata la fase intermedia, caratterizzata da una maggiore conoscenza e dalla diffusione nel mercato di massa. Il trend di crescita riguardante la vendita di dispositivi professionali (con prezzo maggiore a 5000 euro), conferma questa situazione: l'andamento tra il 1988 e il 2010 è sempre positivo ma la fase iniziale risulta più rallentata mentre quella finale subisce un'impennata. Tra il 2010 e il 2011 si ha un +5% sulle vendite.

3.3. Il *timing* d'ingresso nel mercato

Il *timing* d'ingresso delle imprese nel mercato riguarda la scelta del momento più favorevole per fare ingresso in un determinato settore ed iniziare a competere con gli avversari. Alcune volte la decisione di *timing* è dettata da fattori come la maturazione della tecnologia oppure le tempistiche necessarie per organizzare l'impresa a livello aziendale e pratico. Spesso le imprese scelgono il momento che ritengono più opportuno per entrare nel mercato: ciascuna studia e valuta l'andamento di un certo settore di mercato, i suoi concorrenti e le variazioni della domanda per un'ingresso favorevole.
A seconda del tempo di ingresso nel mercato si distinguono: *first mover, follower* e *late entrant*.

3.3.1. 3D Systems e Stratasys: i *first mover* del *3D printing*

3D System e Stratasys sono i due più importanti produttori di stampanti industriali a livello mondiale. I *first mover* assoluti nel settore delle stampanti 3D sono oggi anche le case produttrici principali a livello industriale. Questo è dovuto al fatto che la stampa industriale richiede delle competenze superiori rispetto alla creazione di prodotti all'interno delle mura domestiche. Alcuni dei produttori principali di stampanti non industriali sono: ReaRap.org, Fab@home, Makerbot Industries e Ultimaker.
Fondata in California nel 1986 da Charles Hull, 3D Systems può essere considerato il pioniere assoluto della stampa 3D. Due anni prima Hull sviluppò la prima tecnica capace di creare oggetti fisici a partire da informazioni digitali. Essa prese il nome di stereolitografia. La stereolitografia fu brevettata e fu costruito lo Stereolithography Apparatus, il primo macchinario commerciale per il *3D printing*. Nel 1988 fu creata la prima stampante aperta al grande pubblico: il suo nome era SLA-250. Quasi dieci anni dopo, nel 1996, la compagnia 3D Systems introdusse nel mercato "Actua 2100" ed il termine "stampante 3D" fu per la prima volta usata per indicare i macchinari usati per la prototipazione rapida. Con sede principale in South Carolina, 3D Systems è una società operante a livello mondiale che conta più di mille dipendenti e che nel 2011 ha vantato una situazione economica molto positiva, con un utile netto di 35,4 milioni di dollari. La società è specializzata nella vendita di stampanti 3D per uso domestico, professionale (per creare modelli) e produttivo (manifattura additiva). Inoltre, l'impresa effettua

servizi di personalizzazione delle parti e vende software per la modellazione e la progettazione grafica 3D. Le tecnologie principalmente utilizzate sono la stereolitografia, il *selective laser sintering* e il *multi-jet modeling* . I prodotti e i servizi di 3D Systems sono impiegati in vari settori industriali come l'industria aerospaziale, del divertimento, l'architettura, l'istruzione, il settore *automotive,* il settore medicale e quello manifatturiero.

Anche se non è stato il primo *first mover*, Stratasys è una compagnia rinomata e diffusa almeno quanto 3D Systems. Scott Crump fondò Stratasys nel 1988, dopo aver messo a punto la tecnica di produzione del *fused deposition modeling*. Nel 1992 apparì nel mercato la macchina "3D Modeler", basata sul FDM, e nel 1996 fu introdotta "Genesys". Stratasys utilizza la tecnologia del FDM per produrre stampanti per uso domestico, professionale e per la produzione industriale. Esse sono finalizzare alla costruzione di prototipi e strumenti per la manifattura, allo svolgimento di azioni di finitura o alla produzione di parti *end-user*. L'impresa vende anche software grafici con i quali si possono realizzare modelli architetturali, studi ergonomici o progetti grafici e di marketing. I settori industriali che vengono serviti da quest'impresa sono l'industria aerospaziale, dell'*automotive*, odontoiatrica, medicale, dell'istruzione, della difesa, della produzione di prodotti commerciali e di consumo..

Il gruppo Stratasys è leader a livello mondiale: nel 2007 ha fornito il 44% di tutte le stampanti 3D del mondo rimanendo per il sesto anno prima in questo mercato. Stratasys è una compagnia che annovera al suo interno imprese come Solidscape, RedEye e MakerBot. La fusione con MakerBot risale solo ai primi giorni di agosto del 2013 e il prezzo di acquisizione ammonta a quattrocento milioni di dollari in azioni, più altri duecento milioni di dollari in azioni bonus. L'obiettivo dell'acquisizione è quello di servire un mercato in cui Stratasys detiene una posizione debole, quello delle stampanti per uso domestico. Con l'inclusione di MakerBot nel gruppo, la compagnia compie un considerevole passo in avanti nell'apertura verso il grande pubblico: MakerBot si è da sempre contraddistinta per la sua capacità di penetrare il mercato di consumo grazie a caratteristiche come il costo basso e l'interfaccia intuitiva, che consente all'utente di compiere le operazioni in modo semplice e logico.

3.3.2. Le caratteristiche di 3D Systems e Stratasys come *first mover*

I fattori che hanno caratterizzato 3D Systems e Stratasys nel corso degli anni, grazie alla leadership tecnologica da loro detenuta, sono molto simili. Innanzitutto, sviluppando una propria tecnologia le due imprese hanno acquisito il dominio tecnologico nel proprio campo specifico, la SLA per 3D Systems e il FDM per Stratasys. Questo consentì di guadagnare una reputazione all'esterno e di allargare la propria quota di mercato. Quando la SLA e il FDM nacquero, non erano facilmente imitabili e questo fu un vantaggio per 3D Systems e Stratasys, i quali erano liberi di produrre beni senza temere la concorrenza e proteggendosi da eventuali imitazioni della tecnologia grazie al deposito del brevetto. Inoltre, le due imprese erano favorite perché avevano la possibilità di condizionare le aspettative dei consumatori circa le caratteristiche, l'aspetto e le funzionalità che una stampante doveva avere.

Essere i *first mover* di un certo mercato può comportare dei costi che i follower devono sostenere solo in parte. 3D System e Stratasys, dagli anni '80 ad oggi, hanno sostenuto delle spese non solo per mettere a punto la nuova tecnologia ma anche per le sperimentazioni con esito negativo che hanno contribuito a migliorare i processi esistenti.

Per quanto riguarda i rischi che un *first mover* deve affrontare, essi possono essere raggruppati in tre punti principali:

1. il rischio di fallimento è molto alto;
2. i costi da sostenere sono alti (come R&D, per lo sviluppo dei canali distributivi o di beni complementari) e determinano profitti più modesti;
3. il mercato può riconoscere come pionieri imprese che non lo sono (l'Ipod di Apple è un *follower* ance se molti pensano sia pioniere).

Un ostacolo importante che ancora oggi devono superare le stampanti 3D riguarda l'incertezza circa lo scopo che assolvono e la funzione a cui effettivamente sono destinate. Il compito loro attribuito fin da subito è stato quello della prototipazione rapida, funzione che rimane centrale ancora oggi nel loro raggio d'azione. Negli ultimi anni però, grazie ad un affinamento della tecnologia, al *rapid prototyping* si è affiancata la produzione industriale di serie limitate di prodotti, che sembra poter essere la funzione che il *3D printing* sarà destinato a svolgere nel futuro.

Un produttore di stampanti 3D oggi, può prevalere solo se è in grado di migliorare notevolmente i lead time di produzione. Infatti, lo svantaggio maggiore delle stampanti è proprio quello di avere dei processi produttivi troppo lenti: un oggetto può impiegarci anche un giorno per essere realizzato.

3.4. I meccanismi di protezione del 3D printing

3.4.1. I sistemi proprietari e i sistemi aperti

I *wholly proprietary system*, o **sistemi proprietari**, proteggono la tecnologia di un'impresa attraverso meccanismi che impediscono ai concorrenti di imitarla o utilizzarla. Fintanto che tali meccanismi di protezione sono validi, solamente chi ha ideato una determinata tecnologia può utilizzarla. Chiunque violi quest'obbligo sarà costretto a pagare penali elevate. I sistemi proprietari prevedono il ricorso a brevetti, copyright, segreto industriale o simili.

I **sistemi aperti** di protezione delle innovazioni, detti anche *wholly open system,* si focalizzano sul principio che la tecnologia sia libera. Questa si può basare su standard già noti o su sistemi innovativi e si usa per realizzare i prodotti o per consentire l'applicazione dei processi di un'impresa. Rendendo accessibile il *know-how,* l'impresa consente ai concorrenti di sfruttarlo a loro vantaggio.

Negli ultimi anni i sistemi proprietari sono stati sostituiti da molti sistemi aperti. Molti ritengono che questi ultimi siano più convenienti perché consentono uno sviluppo più rapido nel mercato. Succede spesso che gli operatori del settore siano in grado di esercitare forti pressioni per ostacolare lo sviluppo di una tecnologia che potrebbe dare ad un produttore un eccessivo potere di mercato ed è questo il caso in cui una strategia open-source può essere preferita ad una strategia di protezione.

Bisogna però anche considerare gli effetti di un sistema di protezione aperto: una maggiore concorrenza tra i produttori e una riduzione del prezzo dei beni. Questo comporta l'attribuzione di maggiore importanza alla validità della tecnologia vera e propria ed uno stimolo per i *competitors* a cercare soluzioni migliori e sempre più innovative.

Nel corso della storia della stampa 3D ci sono stati molti casi che hanno visto il ricorso a strumenti di protezione dell'innovazione. Fin dall'inizio, con l'invenzione della

stereolitografia, Charles Hull attribuì alla sua scoperta un brevetto. Fu anche grazie alla riservatezza che questo strumento imponeva che la società fondata da Hull ebbe successo nel mercato. Senza concorrenti diretti, 3D Systems ebbe la possibilità di trarre tutti i vantaggi possibili dal mercato e di muoversi liberamente senza la pressione dei *competitors*.

Sulla scia di Hull, anche Scott Crump decise di proteggere la sua tecnica di produzione con un brevetto, sulla base del quale fondò la sua società, Stratasys. Come la 3D Systems, anche quest'ultima poté svilupparsi in tranquillità senza un'agguerrita concorrenza. Pochi anni fa però, il brevetto del *fused deposition modeling* è scaduto e Stratasys ha dovuto assistere all'imitazione della sua tecnologia da parte degli altri *players* del mercato. In particolare, RepRap rinominò la tecnica del *Fused Deposition Modeling (FDM)* come *Fused Filament Fabrication (FFF)* e iniziò a vendere stampanti 3D a basso costo che funzionavano tramite questa tecnica di produzione ad estrusione.

In pochi anni, a partire dalla scadenza del brevetto del FDM, il prezzo delle stampanti diminuì da alcune migliaia di dollari a poche centinaia. Alcuni dicono che questo fenomeno ha portato alla democratizzazione dell'hobby delle stampanti 3D. Con sistemi proprietari aperti, una folla più ampia di persone poteva avere accesso alle stampanti 3D, non si limitava la scelta dei materiali utilizzabili e vi era maggiore possibilità di sperimentazione per gli utilizzatori.

Inoltre, nel gennaio del 2014 anche il brevetto del *laser sintering* è destinato a scadere. Essa rappresenta la tecnica di stampa 3D più a basso costo e, grazie all'alta risoluzione in tre dimensioni e alla mancanza di necessità di post-trattamenti, il laser sintering è capace di realizzare beni vendibili fin da subito.

Nei prossimi paragrafi saranno analizzati i casi più interessanti di società produttrici di stampanti 3D che hanno basato la loro attività sulla filosofia della tecnologia open-source. Il *main aim* comune di questi soggetti è la volontà di vendere stampanti economiche e facili da utilizzare.

3.4.2. *RepRap e Fab@Home*: i primi progetti *open-source*

RepRap e Fab@Home sono stati i primi due progetti in grado di sdoganare gli standard tradizionali adottati fino ad allora nel mercato del *3D printing*. A distanza di un anno

l'una dall'altra, queste *new entrant* hanno riscosso un successo importante e hanno consentito al grande pubblico di avvicinare e conoscere meglio il fenomeno delle stampanti 3D. Perché hanno reso possibile tutto ciò? Perché le stampanti prodotte da queste società possiedono caratteristiche intrinseche importanti. Esse sono state le prime a produrre stampanti 3D fai-da-te economiche, destinate ad uso non industriale e con tecnologia open-source.

Risale al 2005 il RepRap Project, abbreviazione di "Replicating Rapid Prototyper Project", attuato dal professore di ingegneria meccanica Adrian Bowyer dell'Università di Bath. La *mission* di Bowyer ed il suo gruppo è quella di far in modo che tutti posseggano una stampante 3D sulla loro scrivania.

Adrian Bowyer ha affermato: *"Our aim was to create and give away a machine that makes useful stuff," explains Adrian Bowyer. "It enables its owner to easily and cheaply make another for someone else. This is particularly useful where capital investment is low. It makes manufacture similar to agriculture"*[29].

Fin da subito la stampante RepRap ebbe successo grazie alle sue particolarità:

1. è costruita con materiali facilmente reperibili;
2. è basata su una tecnologia open-source;
3. si può riprodurre: l'utente può dare vita ad una stampante identica grazie ai pezzi auto-prodotti, si stima che RepRap sia in grado di stampare il 60-70% delle proprie parti;
4. la documentazione è disponibile online: tutto ciò che consente di costruire la stampante ed utilizzarla, dal software alle istruzioni per l'hardware, è in rete;

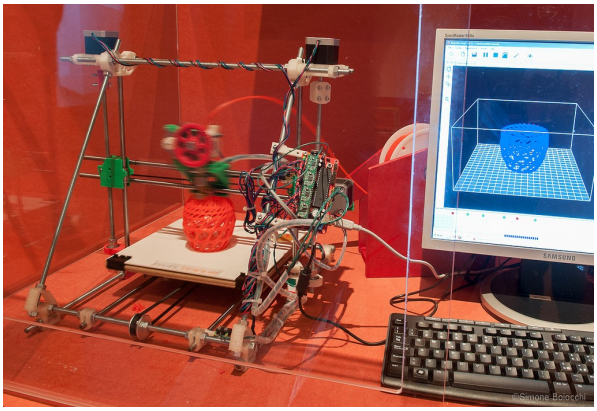


Figura 3.5: RepRap Galileo Next, FDM, in fase di stampa. Fonte: http://reprap.org.

29 Citazione di Adrian Bowyer riportata su uno scritto intitolato "*Shortlisted for two times higher education awards*" situato sul sito dell'Università di Bath il 17 settembre 2012.

La grande popolarità di RepRap si deve attribuire anche al contributo della comunità di sviluppatori ed appassionati, nonché all'esplosione sulle riviste internazionali nel 2008.
La tecnica di produzione, come accennato nel paragrafo precedente, è il *Fused Filament Fabrication*, che permette di realizzare parti tridimensionali grazie ad un filamento di plastica ABS o PLA che viene estruso ad alta temperatura.
La prima stampante venduta da RepRap fu Darwin, nel febbraio del 2008, in grado di riprodurre metà delle parti della quale era costituita. Nell'ottobre del 2009 entra nel mercato Prusa Mendel, un modello molto ammirato la cui versione base viene modificata e sviluppata da molti. Queste stampanti prendono il nome di famosissimi scienziati per rendere omaggio al contributo che queste persone hanno dato alla scienza. Una terza stampante, presentata nell'agosto del 2010, chiamata Huxley, e prevede una versione ridotta dell'hardware di Mendel, con il 30% del volume della stampante originale.
La *Figura 3.6* è una mappa che riporta i luoghi in cui si trovano persone che usano o stanno costruendo una RepRap. Ci sono cinque aziende in Europa che hanno aderito al progetto e attualmente il numero di RepRap vendute ammonta a 2.500.

Figura 3.6: Mappa dei luoghi in cui delle persone usano o stanno costruendo una RepRap. Fonte: http://reprap.org.

In futuro RepRap sarà in grado di produrre oggetti sempre più sofisticati e complessi. Oggi realizza prodotti di tutti i tipi come sandali per bambini, bottigliette impermeabili, bicchierini di vetro, maniglie per le porte o ganci per i cappotti. Il team del progetto è ottimista riguardo gli sviluppi futuri e le possibili applicazioni.

A quasi un anno dalla nascita di RepRap si sviluppa il secondo progetto open-source nel campo del 3D printing nonché la prima stampante multimateriale: il suo nome è Fab@Home. Furono degli studenti di ingegneria meccanica e aerospaziale della Cornell University, Hod Lipson ed Evan Malone, a dare inizio al progetto nel 2006. In meno di un anno il sito di Fab@Home ricevette diciassette milioni di visite ed il progetto ottenne riconoscimenti come il "*Popular Mechanics Breakthrought Award*" e il "*Rapid Prototyping Best Paper Award*".

Figura 3.7: Meccanismo a siringa di una Fab@Home mentre deposita materiale. Fonte: http://biodisplay.tyrell.hu.

A differenza di RepRap, Fab@Home utilizza una tecnica di produzione basata su pompe a siringa che depositano materiale attraverso le loro punte (la precisione dei pistoni delle siringhe è di un microlitro). Grazie all'uso di siringhe come strumenti di deposizione è possibile utilizzare tutti i materiali che riescono potenzialmente a fuoriuscire dall'ugello della siringa. I materiali adoperati sono: resine, silicone, idrogel, materiali commestibili come cioccolato e formaggio, acciaio inossidabile in polvere o magneti in polvere impregnati nel silicone.

Nel 2006 è stata presentata alla conferenza "*Solid Freeform Fabrication"* la prima stampante prodotta, Model 1, dotata di sole due siringhe.

La stampante successiva, la Model 2, comportava dei miglioramenti

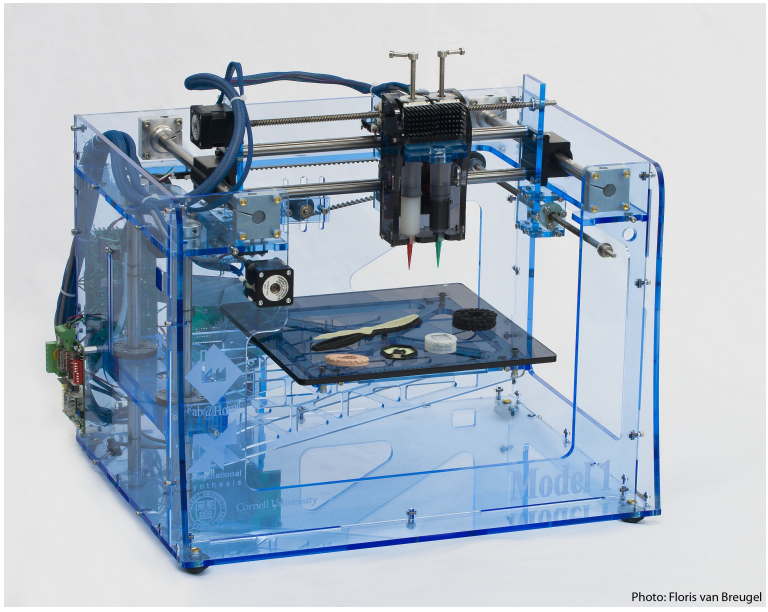


Figura 3.8: Fab@Home Model 1. Fonte: http://www.fabathome.org

importanti come maggiore facilità di assemblaggio e un numero inferiore di parti utilizzate. Il più avanzato Model 3 è disponibile al pubblico da febbraio 2013.
Ci sono molti collaboratori ed esperti che di giorno in giorno apportano miglioramenti alla tecnologia esistente: sono state messe a punto taniche con capacità di contenere una quantità maggiore di materiale e uno strumento di deposizione del ghiaccio.
Nella tabella qui sotto sono proposte alcune delle principali specifiche di RepRap e Fab@Home.

Caratteristiche	RepRap	Fab@Home
Licenza	Open-source	Open-source
Obiettivo	Realizzare una stampante economica che produca oggetti e sia in grado di riprodurre parti di sé stessa	L'obiettivo è la realizzazione di una stampante multimateriale economica
Control System	Fragile ma in miglioramento	Stabile e affidabile
Interfaccia	Richieste competenze tecniche	User-friendly
Sistema di stampa	FFF	Sistema a siringhe
Materiali compatibili	ABS, PLA, HDPE	Liquidi, gel, paste, metalli inn povere, cibo ecc.
Costo delle stampanti	Kit completo da $600 a $1000	Kit completo da $1900 a $2500

Tabella 3.1: Confronto tra le caratteristiche di RepRap e Fab@Home. Fonte:www.reprapcentral.com www.fabathome.org.

Il costo per acquistare un kit completo RepRap è più basso rispetto a quello della diretta concorrente. L'acquisto di uno piuttosto che l'altro modello dipende essenzialmente dall'uso che si intende farne. Per esempio, se il cliente è una pasticceria e vuole realizzare delle decorazioni sulle torte con una stampante 3D, allora sicuramente sceglierà Fab@home. Se invece il cliente è un negozio di giocattoli che vuole realizzare parti di giocattoli o prototipi di giochi egli potrà scegliere sia RepRap sia Fab@Home. In quest'ultimo caso, a seconda delle competenze possedute e del budget a disposizione l'utente prenderà una decisione.
A distanza di alcuni anni dalla nascita di questi primi due progetti sono sorte altre società che condividono una filosofia simile a quella di RepRap e Fab@Home. Makerbot, Ultimaker e Solidoodle sono solo tre esempi di imprese nate sulla scia di

valori condivisi come libertà di know-how, prezzi accessibili e facilità d'uso. L'obiettivo è quello di raggiungere il pubblico più vasto possibile. Il successo raggiunto nel giro di pochi anni da questi produttori è stato davvero sorprendente.

3.4.3 Makerbot

Condivisione e partecipazione sono le parole d'ordine. "*Chi non condivide i propri progetti, sbaglia*"[30], questo è quanto ha affermato il fondatore di Makerbot, Bre Pettis, che ritiene che proteggere le nuove invenzioni con brevetti o *copyright* non sia il modo più efficace per migliorare e diffondere una tecnologia. Attuando questa filosofia ai suoi affari è riuscito a guadagnare circa 10 milioni di dollari vendendo stampanti 3D fai-da-te.

La società Makerbot Industries è stata fondata nel gennaio 2009 a New York da Bre Pettis, Adam Mayer e Zach "Hoeken" Smith. Pettis, CEO della società, ha sviluppato la tecnologia Makerbot in un'altra organizzazione da lui co-fondata, la comunità hacker di Brooklyn NYC Resistor.

Pettis, Mayer e Smith presero ispirazione dal progetto Reprap e si posero l'obiettivo di portare avanti quella che viene definita da molti "*La rivoluzione industriale del futuro*", predisponendo standard affidabili ed economici per stampanti 3D ad uso non professionale. Il primo modello di stampante economica per la prototipazione rapida basata su un tecnologie open-source fu Cupcake CNC.

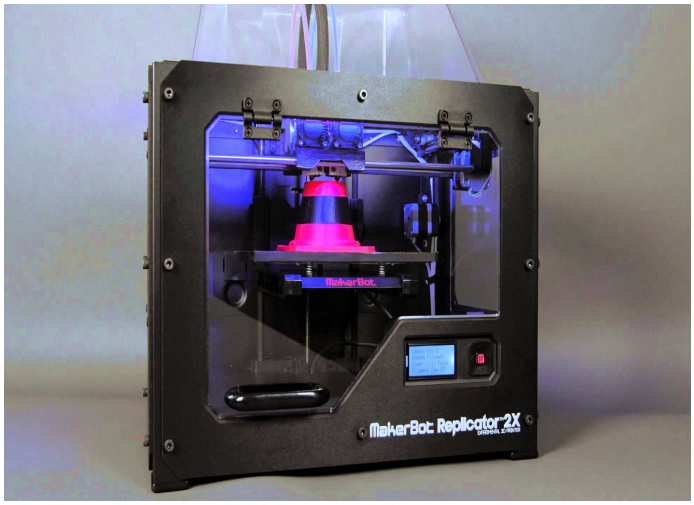


Figura 3.8: MakerBot Replicator 2X. Fonte: http://ucadium.com.

La tecnologia su cui si basa questo modello produttivo è quella del *Fused Deposition modeling (FDM)* e i materiali utilizzati sono: PLA (plastica biodegradabile con la quale si ottengono anche materiali trasparenti), ABS (plastica che consente di creare oggetti

30 La frase di Bre Pettis è stata riportata sull'articolo "*Makers, gli artigiani del futuro*" di Riccardo Luna sul sito di La Repubblica l'8 marzo 2012.

leggeri e rigidi come tubi) , *Flexible Filament* e PVA (composto chimico solubile in acqua, usato per produrre manufatti in vetroresina, per l'incollaggio di fibre naturali, per lenti a contatto ecc.).

Attualmente le stampanti vendute da MakerBot sono Replicator 2 e Replicator 2X. Questi sono strumenti facili da usare ed economici, che permettono di realizzare modelli con superfici lisce senza necessità di ulteriori lavorazioni. Il gruppo ha messo a punto anche uno scanner, Digitalizer, che consente di scansionare gli oggetti e creare un modello 3D automaticamente, senza la progettazione manuale dell'utente.

Negli ultimi anni Makerbot ha ricevuto premi come *"Best Inventions of 2012"* del Time Magazine o *"Overall Winner"* di Popular Mechanics.

Risale al mese di giugno del 2013 l'acquisizione di Makerbot da parte del colosso delle stampanti 3D, Stratasys. Mentre le stampanti Stratasys sono indirizzate ad usi prettamente professionali ed industriali, le creature Makerbot sono incentrate invece sul concetto di fai-da-te e sono destinate agli utenti che si cimentano nel campo delle stampanti 3D per usi non altamente professionali.

L'inclusione della società di Pettis nella multinazionale Stratasys può essere considerata una sconfitta o una vittoria per MakerBot Industries. Da un lato si parla di sconfitta perché la società non è riuscita a provvedere da sola al suo sostentamento: nonostante le ventiduemila stampanti prodotte durante i suoi quattro anni di vita ha dovuto accettare

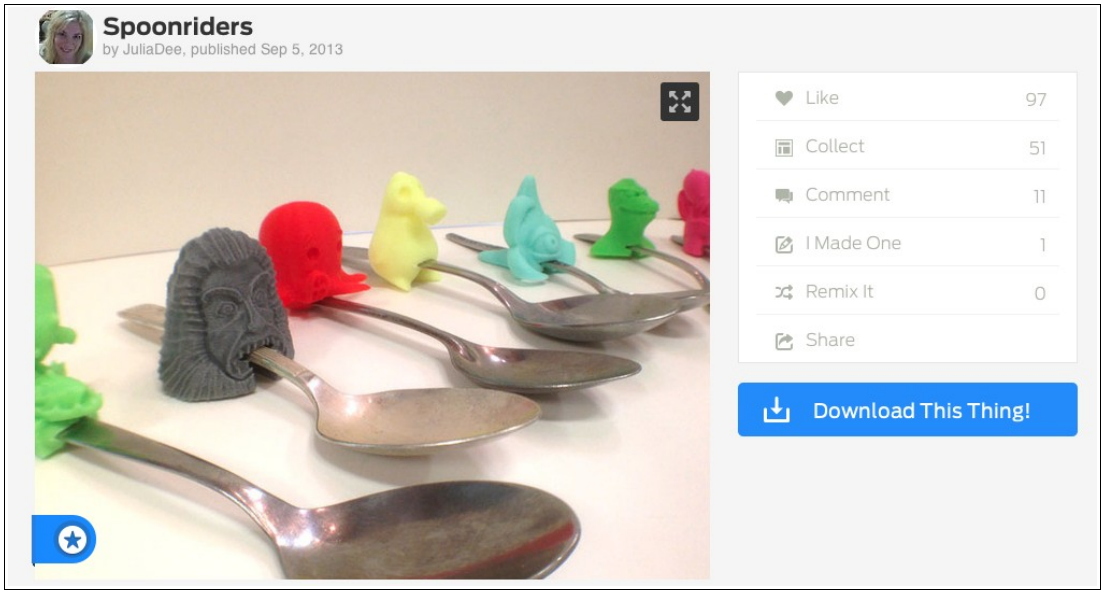


Figura 3.9: Pagina di Thingiverse in cui compare l'oggetto stampato in 3D e caricato dall'utente sulla piattaforma. Fonte:www.thingiverse.com.

l'aiuto che gli è stato offerto da Stratasys. Dall'altro lato si parla di vittoria perché con questa mossa strategica Pettis ed il suo gruppo hanno assicurato un futuro a Makerbot e hanno evitato a questa società di smanettoni dell'alta tecnologia la crisi economica.
Thingiverse è la piattaforma online della comunità di utenti di Makerbot Industries. È un posto virtuale in cui è possibile condividere i propri progetti 3D liberamente. La *Figura 3.9* riprende un post pubblicato da un membro della community di Thingiverse. Nell'esempio si può vedere che il 5 settembre 2013 JulaDee ha caricato all'interno della piattaforma foto e file dei suoi porta cucchiai e ha inserito un commento in merito alla sua creazione. Thingiverse funziona come un social network: è possibile iscriversi alla comunità, cliccare mi piace, commentare, collezionare e condividere l'oggetto in questione.

3.4.4 Ultimaker

Ultimaker è uno dei più recenti players nel mercato delle stampanti 3D. La società Ultimaking Ltd., nata a Geldermalsen, nei Paesi bassi, da un'idea di Martijn Elserman, Erik de Bruijn e Siert Wijnia, ha iniziato a distribuire ufficialmente le proprie stampanti nel maggio del 2011.

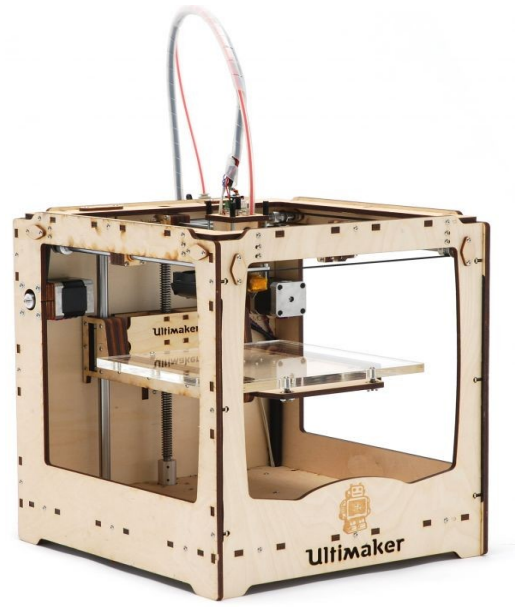


Figura 3.10: Stampante Ultimaker. Fonte: http://desktop-3d-printers.findthebest.com

A evidenziare l'esistenza di un filo conduttore tra i progetti open-source appena esaminati, vi è la collaborazione dei fondatori di Ultimaker con il progetto RepRap durante i suoi primi giorni di vita.
Elserman, Brujin e Wijnia tenevano workshop per spiegare come avveniva la costruzione di un modello RepRap. La costruzione di questo tipo di stampante però, richiedeva tempi troppo lunghi e un ammontare di conoscenza troppo elevata, così Elserman, Bruijn e Wijnia decisero di realizzare il loro modello di stampante, Ultimaker. Basato sulla filosofia open-source, l'impresa impiega oggi più di venti persone. L'obiettivo di Ultimaker è quello i creare stampanti che occupino sulla

scrivania poco spazio ma che siano in grado di realizzare oggetti molto grandi: oltre un migliaio di modelli sono stati venduti nel mondo e molti di questi sono utilizzati nei FabLab olandesi.

Una stampante Ultimaker può essere acquistata non assemblata oppure già pronta per essere utilizzata: il kit ha un costo più contenuto, 1.194,00 euro, mentre la stampante assemblata ha un prezzo più elevato, 1.699,00 euro.

Le creazioni di Elserman, Bruijn e Wijnia sono state apprezzate a tal punto che sono nate delle imitazioni cinesi: nel febbraio del 2013 hanno fatto la loro comparsa nel mercato DreamMaker 3D Printer e 3D Joy.

3.4.5 Solidoodle

Solidoodle è una startup di *3D printing* fondata a Brooklyn (New York) nel 2011 dall'ingegnere aerospaziale Sam Cervantes. A dimostrazione del legame che sussiste con progetti come Makerbot o Ultimaker vi è il fatto che Cervantes, prima di fondare l'attuale società, aveva ricoperto la carica di direttore delle operazioni nella compagnia MakerBot.

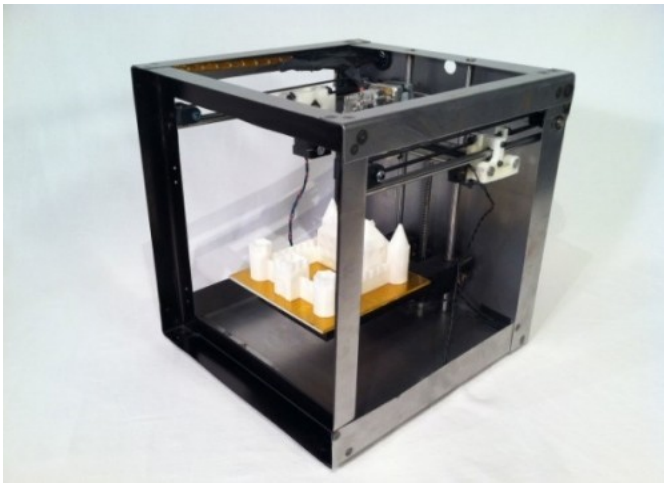


Figura 3.11: Stampante Solidoodle. Fonte: www.engadget.com

In meno di due anni la Ultimaker è riuscita a realizzare vendite per un ammontare di quattro milioni di dollari.

I guadagni sono cresciuti enormemente nel 2012 con la vendita della Solidoodle 3D Printer 2nd Generation a soli $499 e con la pre-vendita del modello Solidoodle 3d Printer 3rd Generation a $799. I registri delle vendite sono stati positivi anche dopo la stagione estiva, periodo in cui si ha generalmente un rallentamento nella vendita di elettronica.

Solidoodle produce stampanti che utilizzano la tecnica di produzione del *Fused Deposition Modeling (FDM)e* l'utilizzazione del macchinario da parte dell'utente è semplice: dopo aver montato il materiale hardware è necessario scaricare i software disponibili gratuitamente nel sito.

Solidoodle quindi, come è possibile intuire, è uno dei più agguerriti *main competitor* di Makerbot che, nel 2013 vede la propria Replicator 2 minacciata dalle caratteristiche tecniche della Solidoodle 3rd Generation. Quest'ultima possiede maggiore rapidità nel processo di stampa rispetto ai concorrenti, risulta più facile da utilizzare ed il prezzo è più competitivo.

Confronto tra Makerbot, Ultimaker e Solidoodle

Caratteristiche	MakerBot	Ultimaker	Solidoodle
Modello	Replicator 2	Ultimaker	Solidoodle 3rd Gen.
Sistema prorietario	Open-source	Open-source	Open-source
Tecnologia	FFF/estrusione termoplastica	FFF/estrusione termoplastica	FFF/estrusione termoplastica
Volume oggetti prodotte (LengthxWidthtxHeight)	28,5 x 15,5 x 15,2 cm	21 x 21 x 20,5 cm	20,3 x 20,3 x 20,3 cm
Volume stampante	49 x 32 x 38 cm	39 x 35,5 x 34 cm	34,3 x 36 x 35 cm
Peso stampante	11,5 kg	~ 9 kg	~ 9 kg
Materiali	PLA consigliato	ABS, PLA	ABS consigliato
Risoluzione (altezza strato)	fino a 0,1 mm	fino a 0,0125 mm	fino a 0,01 mm
Prezzo	€ 1.646,40	€ 1.699,00	€ 598,21

Tabella 3.2: Confronto delle caratteristiche tra MakerBot, Ultimaker e Solidoodle.
Fonte: www.makerbot.com; www.ultimaker.com; www.solidoodle.com.

Makerbot, Ultimaker e Solidoodle hanno riscosso un enorme successo tra il pubblico in questi ultimi anni grazie alla loro formula di vendita. Le offerte proposte questi produttori presentano caratteristiche molto simili tra loro e allo stesso tempo molto differenti da quelle che contraddistinguono marchi storici come Stratasys, 3D Systems oppure EOS.

Come si vede nella *Tabella 3.2,* tutti e tre i produttori citati utilizzano software scaricabili gratuitamente dal sito, la tecnologia di produzione comune è la *Fused Filament Fabrication* e la risoluzione, ovvero l'altezza dello strato di materiale

termoplastico che viene steso sulla piattaforma di costruzione, è uguale per Makerbot e Solidoodle (0,01mm) e leggermente inferiore per Ultimaker (0,0125mm). Per quanto concerne la dimensione degli oggetti prodotti, le marche Ultimaker e Solidoodle presentano dati simili tra loro mentre Makerbot ha previsto dei volumi differenti. Ultimaker prevede un uso indistinto di ABS e PLA come materiale per il filamento, Makerbot utilizza preferibilmente PLA mentre per Solidoodle è consigliata la plastica ABS (preferibile in quanto riciclabile). Inoltre, il peso e le dimensioni di Makerbot la rendono la stampante più grande tra le tre.

Ciò che però stupisce di più nei dati proposti è la differenza di prezzo: quasi settecento euro separano Makerbot e Ultimaker da Solidoodle. A cosa si deve tale scarto?

Makerbot è stata definita da molti la "Apple delle stampanti 3D". Questa risulta avere un'interfaccia molto semplice da utilizzare e un design unico ed elegante: sia i materiali con cui è realizzata sia le dimensioni del macchinario s'impongono sulle altre stampanti. Proprio grazie alla struttura più grande e al peso dei materiali con cui è costruita la stampante più elevato è possibile avere una maggiore stabilità durante la fase di stampa: il movimento dell'ugello infatti causa minimi movimenti all'intero apparato di stampa. Con una MakerBot si ovvia a questo e altri difetti e la qualità del processo di stampa risulta essere più elevata.

Con Ultimaker è possibile iniziare a stampare oggetti tridimensionali pressoché subito dal momento in cui se ne entra in possesso, è una stampante pratica e veloce. Essa però non sembra avere caratteristiche così eclatanti da giustificare una tale differenza di prezzo con Solidoodle.

In base alle analisi eseguite, se si dovesse proclamare la migliore stampante secondo un rapporto qualità-prezzo, questa sarebbe la Solidoodle 3rd Generation.

3.6. Shapeways e Ponoko: l'e-commerce del 3D printing

Shapeways e Ponoko sono due tra le più diffuse piattaforme dedicate alla condivisione e alla vendita di prodotti e progetti di stampa 3D. Questi due modelli presentano caratteristiche simili e consentono di eseguire le stesse operazioni, con qualche eccezione. Attraverso ciascuna piattaforma è possibile:

1. Acquistare oggetti stampati in 3D progettati da altri utenti: su *Shapeways* i

progetti sono suddivisi per categoria (arte, moda, casa, *gadgets*, giochi, gioielli, parti meccaniche e miniature);

2. Caricare sul sito il proprio progetto 3D, farlo stampare da Shapeways o Ponoko (è disponibile una moltitudine di materiali) e farselo inviare a casa;

3. Caricare sul sito il proprio progetto 3D e venderlo ad altri utenti attraverso la piattaforma stessa.

Shapeways è una startup company fondata nel 2007 e derivata dalla Royal Philips Electronics[31]. Nel giugno del 2012 si erano già venduti più di un milione di oggetti creati dagli utenti. Oggi le sedi centrali sono a Eindhoven e a Seattle e l'impresa impiega più di novanta persone.

Ponoko viene fondata nello stesso anno di Shapeways, nel 2007, probabilmente perché la diffusione del 3D printing si può attestare in quegli anni o semplicemente per pura coincidenza. Ponoko stipulò delle collaborazioni con servizi di manifattura locale (un esempio di servizio locale è Vectorialism, di cui si è parlato nel secondo capitolo) e già nel 2009 erano disponibili sul sito più di ventimila oggetti. A differenza di Shapeways, Ponoko offre un servizio ulteriore all'utente: nel sito è possibile acquistare non solo gli oggetti stampati in 3D ma anche i progetti 3D degli oggetti stessi. Nel sito infatti, sono in evidenza sia i progetti 3D che possono essere scaricati gratuitamente sia quelli a pagamento.

È necessario chiarire un punto che può causare l'insorgere di dubbi: Thingiverse è solamente una community in cui le persone espongono e discutono delle loro creazioni e, nonostante anche Shapeways e Ponoko dispongano della loro community e del loro blog sono cose differenti, queste ultime sono piattaforme dedicate principalmente all'acquisto di oggetti 3D e al caricamento e alla vendita di propri progetti.

3.6. Il progetto Arduino

È il 6 dicembre 2012 il sito di Wired, una nota rivista d'avanguardia tecnologica, pubblica un articolo nel quale si descrive il potenziale innovativo di Arduino[32].

31 Royal Philips Electronic: nota comunemente come Philips, è una società olandese di elettronica tra le più famose al mondo, presente in oltre 60 Paesi.

32 Si tratta dell'articolo intitolato "Arduino:creare è un gioco da ragazzi", scritto da Andrea Girolami e pubblicato il 6 dicembre 2012 sul sito della rivista Wired.

Nonostante il nome da re, Arduino non è una persona, bensì un microcomputer che ha conquistato il mondo con quattrocentomila unità ufficiali diffuse nel vari paesi. Arduino è una piattaforma di prototipizzazione elettronica open-source basata su hardware e software flessibili e semplici da usare, è ciò che consente a ciascuno di noi di diventare dei piccoli inventori.

Arduino è un progetto sviluppato nel 2006 dall'ingegnere italiano Massimo Banzi mentre teneva un corso all'*Interaction Design Institute* di Ivrea, località già nota per aver visto la nascita di Olivetti. Il nome Arduino infatti, deriva dal bar in cui si riunivano gli studiosi e fondatori del progetto.

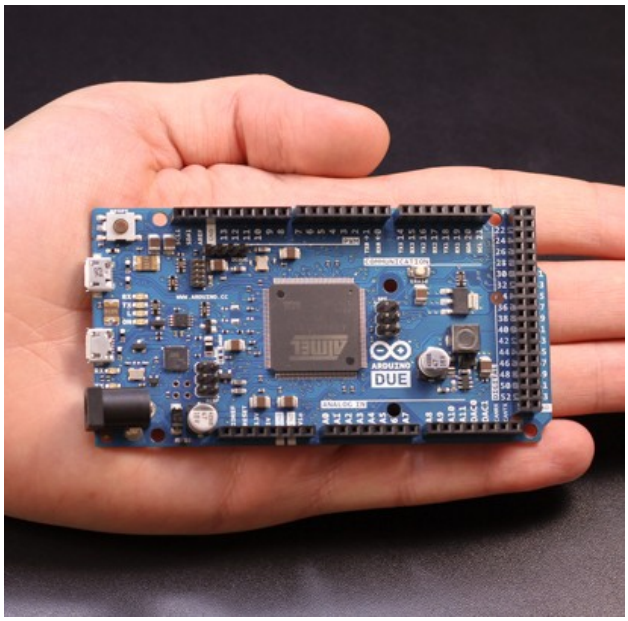


Figura 3.12: Il microcomputer Arduino.
Fonte: http://arduino.cc

Cosa fa praticamente Arduino? Si può semplicemente dire che fa compiere un'azione ad un oggetto, un'azione come emettere un segnale acustico quando il gatto balza sull'aiuola con i fiori freschi. Questa piattaforma è in grado di percepire l'ambiente che la circonda grazie ad una serie di input provenienti da una vasta gamma di sensori; inoltre, può intervenire sull'ambiente circostante attivando luci, motori e altri meccanismi simili.

Arduino può funzionare autonomamente o comunicare con software installati su un computer (es. Flash, Processing MaxMSP). La piattaforma hardware può essere costruita a mano oppure può essere completata dopo averla acquistata nel web pre-assemblata; il software è scaricabile gratuitamente dalla rete mentre i progetti di riferimento hardware (file CAD) sono disponibili con una licenza open-source e si possono assemblare come si ritiene più adeguato.

Con dieci versioni ultimate, tale piattaforma ha avuto un seguito importante in tutto il mondo. Ciascuna scheda è prodotta in Italia e a dimostrazione dell'originalità del circuito è stato stampato il profilo dell'Italia sul circuito elettronico.

Il prezzo di un microcomputer Arduino è di circa venti euro: un ammontare minimo che consente al gruppo di Banzi di guadagnare un margine irrisorio. É possibile entrare in possesso di uno strumento così utile ad un prezzo così basso grazie a software e licenze disponibili liberamente nel web. Il gruppo di Banzi ha creato una società basata su un business originale, diventato comune in questi ultimi anni: quello dell'open-source. Tutti i segreti commerciali sono pubblicati sul sito e, chi volesse iniziare a produrre Arduino potrebbe farlo, senza vincoli, senza ostacoli o divieti imposti da brevetti. Le royalties per l'invenzione tecnologica non esistono. La società, distribuendo Arduino quasi gratuitamente, si assume la responsabilità e corre molti rischi, come la necessità di coprire i costi per la produzione dei lotti di schede.

Negli ultimi anni sono molte le imprese che hanno reso disponibili le specifiche tecniche in rete, probabilmente sulla scia di alcune imprese di successo come il sistema operativo Linux, il browser Mozilla Firefox o il software Apache.

Nel 2006 Arduino ha ricevuto una Menzione all'Onore nella sezione delle Comunità Digitali del Premio dell'Ars Electronica.

Dopo questa introduzione sulle caratteristiche e le funzionalità di Arduino è possibile giungere ora al nodo cruciale del paragrafo: la combinazione tra Arduino, detto anche la piattaforma del futuro, e delle stampanti 3D, annunciate come la tecnologia che rivoluzionerà il futuro. Se un inventore ha studiato e deciso di utilizzare Arduino in un certo modo e necessita di costruire delle parti per mettere in atto tale meccanismo, con una stampante 3D sarà possibili produrre i pezzi mancanti. Allo stesso modo, gli oggetti prodotti con una stampante 3D potranno prendere vita grazie al microcomputer. L'utilizzo congiunto dei due elementi consente agli stessi di completarsi a vicenda: l'idea è quella che Arduino sia il cervello e le stampanti 3D siano il corpo.

3.6.1. Fablab

Figura 3.13: Arduo Memory Machine, meccanismo per l'assunzione puntuale dei medicinali basato su Arduino Uno.

"Arduo Memory Machine" è un progetto italiano sviluppato nel 2012 da Giuseppe G., in collaborazione con la comunità di Arduino. Questo meccanismo, basato sul *device* Arduino Uno, è utilizzato per avvertire i pazienti che necessitano aiuto nell'assunzione di medicinali. Programmato per un massimo di due pazienti e di sedici medicine per paziente, esso consente di visualizzare su un apposito display l'ora, la data e gli allarmi impostati per l'assunzione del medicinale. Ciascun allarme suonerà per trenta minuti prima di cessare e, al momento dell'assunzione del medicinale, il paziente può premere un pulsante per memorizzare l'avvenuto svolgimento del compito. L'esempio appena proposto è uno dei molti lavori realizzati nella sede Fablab di Torino.

Il Fablab, letteralmente "laboratori da favola" è una palestra di inventori, un laboratorio di idee in cui si elaborano e si realizzano centinaia di progetti ideati da singoli individui che non possiedono le competenze, le capacità o anche solo le risorse per metterle a punto.

Come recita il sito di Fablab Italia, questo spazio è: *"figlio dell'industria da cui ha preso la precisione e riproducibilità dei prodotti, il nipote dell'artigianato da cui ha preso la progettazione su misura, fratello dell'open-source con cui condivide la filosofia di scambiarsi progetti liberamente"*. Si tratta quindi della fusione di tre concetti principali:

- industria: da cui la riproducibilità degli oggetti;
- artigianato: passione, accuratezza, dettagli e precisione;
- *open-source:* tutti i progetti sono liberi, senza segreti e appropriabili da chiunque.

Un corretto mix di questi elementi dà vita ad uno spazio in cui tutti possono giocare a diventare inventori. Le uniche caratteristiche che vengono richieste sono inventiva ed originalità, qualità che in un mondo conformista come questo possono essere difficili da trovare. Gli italiani hanno una grande abilità nel trovare soluzioni originali e vengono spesso definiti un popolo di inventori quindi nell'arte dei Fablab possono dimostrarsi eccellenti. I Fablab italiani però sono nati in ritardo rispetto al resto del mondo.

Il primo Fablab internazionale venne ideato nel 2001 da un giovane professore del MIT di Boston, Neil Gershenfeld, il quale ritiene che mettere a disposizione agli studenti strumenti di produzione degli oggetti può scatenare le loro menti. Secondo dei dati

forniti dalla Fablab association, il numero di Fablab che hanno preso vita da quel momento è stato di 252. Nel 2010 ce ne sono più di cento, compreso in Costarica ed in Afghanistan, ma ancora nessuno in Italia. Solo nel febbraio del 2012 a Torino si costituisce il primo laboratorio italiano, in occasione della mostra "StazioneFuturo", realizzata per il centocinquantenario dell'Unità d'Italia: il suo nome è Officine Arduino, in onore del celeberrimo microprocessore. Da sempre, il progetto di Massimo Banzi è stato quello di aprire un Fablab in Italia: oggi è uno dei soci fondatori del Fablab Torino. Questo laboratorio di fabbricazione digitale e makerspace è aperto a qualunque esigenza:

- utenti: inventori, curiosi o studenti possono sviluppare un loro progetto o solo imparare ad usare i macchinari;
- università e scuole: il Fablab svolge interventi e letture sulle nuove tecnologie, workshop e supporto e sviluppo di prototipi;
- aziende: non vengono erogati servizi nei confronti di terzi. Le imprese possono consultare il Fablab per ottenere aiuto in settori come la prototipazione rapida, la modellazione 3D o l'elettronica.

Finalmente oggi in Italia si sta vivendo una vera e propria esplosione di Fablab: si prevede di aprire nuovi centri a Trento, Palermo, Novara e Pisa. Le sedi già attive sono numerose: Torino, Milano, Firenze, Reggio Emilia, Pistoia, Roma, Cava dei Tirreni, Napoli e Bologna.

L'apertura del centro di Pistoia, YouLab, nell'aprile 2013, è stato finanziato dal governo americano tramite gli stanziamenti di un miliardo di dollari previsti dal programma del presidente Obama, finalizzati ad aprire quindici istituti per l'innovazione manifatturiera in Italia. Sorge spontanea dunque la domanda seguente: perché si deve ricorrere al governo americano per ottenere dei finanziamenti, nessun soggetto italiano è in grado di assicurare un futuro all'Italia? La verità è che le istituzioni non possono elargire grossi fondi da destinare alla ricerca e le piccole-medie imprese stanno cercando di riprendersi dalla crisi quindi è per loro impossibile investire in R&dD. I Fablab si rivelano quindi l'arma vincente sperimentare, realizzare prototipi a basso costo e magari stabilire un così forte rapporto con il territorio locale, tale da consentire di ricostruire le filiere produttive che sono andate perdute.

3.6.2. Makerfaire

Il Makerfaire è un festival diffuso in tutto il mondo creato dal movimento dei Makers e tenutosi per la prima volta nel 2006 alla Bay Area, in California. Lo scopo di questi eventi, oltre a quello di diffondere il movimento dei "Makers", è quello di celebrare la creatività, l'invenzione e l'iniziativa di artigiani, ingegneri, scienziati, autori, artisti, studenti e commercianti che mostrano il lavoro che hanno realizzato e lo condividono con il mondo. Per i Makerfaire che si sono svolti a New York e alla Bay Arena erano attese più di 165.000 persone. Le istallazioni presenti sono numerosissime e la gente da tutto il mondo accorre per imparare nuove tecniche utili a fini lavorativi o per incrementare semplicemente la loro conoscenza.

I makers sono un fenomeno contemporaneo che sta iniziando a diffondersi su larga scala solamente negli ultimi anni. Questa corrente trova la propria origine nei centri di innovazione collaborativa, collocati prevalentemente negli Stati Uniti dove se ne contavano all'incirca un centinaio nel 2009.

Il termine "Makers" fa riferimento al cosiddetto fai-da-te. Definiti anche artigiani digitali, sono degli inventori che grazie all'open source, alle tecnologie e al web, sono diventati anche imprenditori. La loro attività lavorativa si basa sul disegno, la progettazione e la realizzazione di prodotti. Per facilitare la creazione dei prodotti e per riuscire a venderli al grande publico si avvalgono della tecnologia e del Web.

Nel 1926, l'operaio californiano Fred Hauser fu uno dei primi esempi di maker. Hauser, stanco di irrigare il proprio prato a mano, messe a punto un sistema di irrigazione automatico che apriva e chiudeva le valvole con un orologio elettrico. Anche se il sistema fu brevettato dall'operaio, non sarebbe riuscito a commercializzarlo da solo. Così qualche tempo dopo Moody acquistò il suo brevetto e lo vendette con il nome di "Rainmaster". Hauser, sfortunatamente, guadagnò solo poche migliaia di dollari dalle royalty. Se il maker avesse sviluppato il suo impianto di irrigazione automatico in tempi più recenti avrebbe potuto avvalersi del web per farlo conoscere e venderlo tramite la rete. Il web ha reso democratici gli strumenti di produzione e distribuzione.

La cultura maker è fortemente legata all'open source e a strumenti tecnologicamente avanzati. Il microcontroller "Arduino" o le stampanti 3D sono due dei principali mezzi che consentono a ciascun soggetto di produrre in autonomia e in modo economico gli

oggetti che desiderano.

3.7. La stampa 4D

Chi pensava di aver visto tutto con la stampa 3D si sbaglia: non solo si possono costruire nuovi oggetti ma si può insegnare loro ad adattarsi all'ambiente circostante. Cose dell'altro mondo che si possono vedere solamente in un film di Spielberg? No, questa è la stampa 4D. È un gruppo guidato da Skylar Tabbits[33], direttore del Laboratorio di Auto-Assemblaggio del MIT di Boston, che sta portando avanti un progetto con Stratasys sul processo di auto-assemblaggio dei materiali. Si parla di programmare materiali fisici e biologici in grado di cambiare forma e proprietà, di ordinare le parti disordinate in una struttura ordinata. Il software Cadnano permette di disegnare forme tridimensionali come nano-robot usando il DNA per assemblare queste strutture funzionali. Il problema più grave è che, su scala reale, il settore delle costruzioni, della manifattura e dell'infrastruttura ad esempio, presentano delle inefficienze, un consumo di energia o tecniche di lavoro eccessive. Un caso pratico può offrire dei chiarimenti su ciò che si vuole dimostrare: generalmente, nel settore idraulico, le tubazioni che sotterriamo hanno capacità e portata fissa e non possono far fronte ai cambiamenti dell'ambiente circostante, perciò risulta necessario rimuoverle e sostituirle, aggiungendo nuova capacità. La trasformazione delle parti ovvierebbe a

Figura 3.14: Ampolle di vetro con particelle molecolari all'interno. L'obiettivo dell'esperimento è dimostrare la trasformazione della struttura molecolare quando si scuote l'ampolla. Fonte: http://www.ted.com/talks/skylar_tibbits_the_emergence_of_4d_printing.html

33 Skylar Tabbits: direttore del Laboratorio di Auto-Assemblaggio del MIT di Boston, architetto, informatico ed artista. Si è laureato alla Facoltà di Architettura dell'Università di Philadelphia e ha continuato la sua istruzione al MIT di Boston dove gli è stato conferito un *Master in "Design+ Computation* e un *Master in Computer Science*. É stato premiato al TED 2012 come *Senior Fellowship*.

questo problema ed è per questo che le ricerche stanno cercando di combinare il mondo dei nanomateriali adattivi programmabili e l'ambiente che li circonda. Gli elementi necessari per fare ciò sono i materiali, l'energia (aria, calore, vibrazione, gravità, magnetismo ecc.) e il meccanismo che individua il problema e vi pone rimedio, consentendo alle forme di passare da uno stato all'altro.

Il TEDGlobal[34], in collaborazione con Autodesk[35] e Arthur Olson[36] (professore di biologia molecolare), ha sviluppato un progetto che aveva lo scopo trasformare parti individuali non collegate in oggetti tridimensionali. Si prenda in considerazione il virus della poliomielite, la sua struttura molecolare viene messa in una coppa di vetro: dopo una prima forte scossa la struttura si spezza e, dopo una seconda scossa casuale le molecole iniziano a costruire una nuova struttura correggendo quindi l'errore.

Durante il suo discorso al TED di febbraio, Skylar Tabbits svela per la prima volta un progetto sulla stampa 4D, chiamato Project Cyborg, messo in atto in collaborazione con Stratasys. L'idea di base è quella di aggiungere la dimensione tempo alla stampa 3D multimateriale, ovvero fare in modo che le parti possano evolvere da una forma ad un'altra da sole, come avviene per la robotica ma, senza l'uso di fili o motori. Con questo progetto si è cercato di studiare la reazione di un cannuccia stampato da Stratasys con proprietà multimateriale.

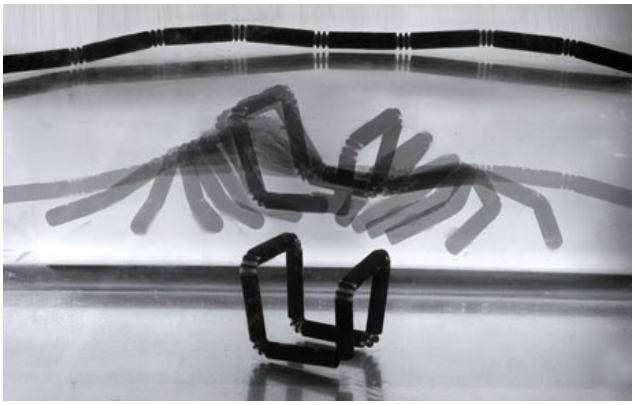


Figura 3.15: Cannuccia con proprietà multimateriale stampata da Stratasys che, immersa nell'acqua, si auto-avvolge trasformandosi in un cubo.
Fonte: http://phys.org.

34 TEDGlobal: Technology Entertainment Design Global è un'importante conferenza che si tiene ogni due anni in una città diversa nel mondo. I temi che si discotono sono vari: scienza, arte, politica, temi globali, architettura, musica e altri. Il TEDGlobal è l'evoluzione della conferenza TED che si tiene ogni anno a Monterey, California.

35 Autodesk è una società leader mondiale nella fornitura di software di progettazione 3D per l'entertainment, le risorse naturali, la produzione manifatturiera, l'ingegneria e altri.

36 Arthur J. Olson: Professore di biologia molecolare e Direttore del Laboratorio di Grafica Molecolare "*Olson Laboratory*".

Una volta immersa nell'acqua, questa si auto-avvolge formando un cubo, una struttura tridimensionale costruita senza l'interazione dell'uomo.

Questo processo potrebbe determinare una svolta perché, una volta inserito un programma e una trasformazione nei materiali stessi, questi possono modificarsi a piacere e possono consentire di realizzare delle infrastrutture adattive in futuro.

Il MIT ha fondato un Laboratorio di Auto-Assemblaggio che studia la costruzione di materiali programmabili per l'ambiente costruito che ci circonda. L'obiettivo che attualmente sta impegnando il Laboratorio e la società Geosyntec[37] di Boston è quello di riuscire a costruire dei tubi che si espandono e si restringono per modificare la capacità.

La stampa 4D consente di produrre materiali che nascono e crescono da soli e che consentirebbero, magari in un futuro più lontano, di accrescere l'efficienza in alcuni ambiti di applicazione e risparmiare sulle spese necessarie per adattarsi ai cambiamenti ambientali

3.8. Conclusioni

La definizione della stampante 3D dal punto di vista innovativo e il suo trend può risultare utile per eseguire delle analisi che vedono la sostituzione di alcune fasi del processo di produzione industriale con quello della stampa 3D. Inoltre, la panoramica di imprese attualmente attive nella stampa 3D favorisce un inquadramento più definito dei *players* attualmente presenti nel mercato.

37 Geosyntec: società di ingegneria e consultazione specializzata di Boston che lavora con clienti del settore pubblico e privato per risolvere problemi complessi riguardanti l'ambiente, e risorse naturali e l'infrastruttura civile.

Capitolo 4:
L'effetto sui modelli produttivi esistenti e gli ambiti di applicazione della stampa 3D

Introduzione

Uno degli argomenti più controversi nel campo del *3D printing* riguarda la possibilità di adoperare questa tecnologia in ambito industriale. Nel primo capitolo si è studiata l'evoluzione dei modelli produttivi nel corso del tempo, i loro punti di forza e di debolezza; si è constatato come il progresso tecnologico sia una delle determinanti fondamentali per il successo di un sistema di produzione piuttosto di un altro.

Sulla base di quanto esaminato nei capitoli precedenti, in particolare prendendo come riferimento sistemi come la *mass production*, la *flexible/agible production* e la personalizzazione dei prodotti, si verificherà se e in che modo la stampa 3D può migliorare l'efficienza e la qualità dei processi industriali esistenti.

Le numerose tecniche di produzione della stampa 3D inducono a ragionare sull'applicazione che questa può avere nei diversi ambiti industriali. Per ciascuno di essi si cercherà di capire la convenienza che può derivare dall'adozione del *3D priniting* in termini di qualità, di tempi e di costi .

4.1 L'uso delle stampanti 3D nella produzione su larga scala

I mercati di massa si sviluppano in Europa solo dopo la seconda guerra mondiale ma sono già ampiamente diffusi negli Stati Uniti a partire dalla crisi economica degli anni trenta. A differenza di altri paesi europei, l'Italia accolse i mercati di consumo solo negli anni cinquanta del novecento, in una fase di ricostruzione economica del paese in cui i grandi industriali cercavano nuove soluzioni per dare una spinta all'offerta.

Oggi i mercati di massa esistono solamente in alcuni settori di consumo: si tratta di quegli ambiti che producono beni standardizzati e pressoché uguali che rispondono a richieste omogenee da parte dei consumatori. L'obiettivo per i consumatori è quello di avere la massima efficienza a prezzi relativamente bassi. Per avere il contenimento dei

costi e dei tempi si ricorre alla produzione su larga scala, facendo ricorso a macchinari industriali che realizzano migliaia di prodotti ogni giorno. Nel settore degli elettrodomestici, ad esempio, Candy è una multinazionale italiana che ha riscosso successo nel corso del tempo. Fondata a Monza nel 1945, l'impresa possiede otto stabilimenti produttivi e realizza ogni anno circa sei milioni di prodotti: ciascun stabilimento produce mediamente 750.000 elettrodomestici all'anno e ben 2.500 ogni giorno. Questi numeri sono significativi perché conducono al nodo centrale del discorso.

Le stampanti 3D non sono in grado di competere con i metodi tradizionali per la produzione industriale di grandi quantità di beni. Lo sviluppo di questa tecnologia non è ancora così avanzato da consentire la realizzazione di prodotti su larga scala con tempistiche accettabili. Questo può essere dimostrato attraverso un semplice calcolo che si serve dell'esempio di Candy. Si calcola la fabbricazione di 2.500 elettrodomestici in media ogni giorno e 104 ogni ora. Il tempo per stampare un oggetto in 3D dipende molto dal tipo di tecnica utilizzata e dalle dimensioni dell'oggetto. Nella Figura 4.1 sono presenti le principali tecniche di manifattura additiva e una media del tempo (espresso in ore) che ciascun metodo impiega per produrre un oggetto.

Tecnologia	SLA	FDM	MJM	SLS	LOM
Tempo (in ore)	26,19	42,10	7,17	6,51	19,39

Tabella 4.1: Media delle ore che le diverse tecniche di manifattura additiva impiegano a produrre un oggetto. Fonte: Università la Sapienza, Roma.

Alla luce dei dati riportati nella tabella si intuisce il fatto che se ci si trovasse nella situazione di dover produrre tutte le componenti di un elettrodomestico con la stampa 3D, questo procedimento potrebbe durare anche dei giorni. È semplice capire che, anche se si possedesse un numero molto elevato di stampanti 3D, queste non avrebbero in ogni caso le potenzialità per competere con macchinari industriali tradizionali. I tempi e i costi sono ancora eccessivi. Tuttavia, non si esclude il fatto che in un futuro prossimo la stampa 3D possa competere con i metodi tradizionali nella produzione su larga scala. Con l'attenzione che sta attirando ultimamente il fenomeno delle stampanti 3D, l'ammontare degli investimenti di ricerca e sviluppo in questo settore potrebbero anche

aumentare ed il progresso tecnologico futuro sarebbe più veloce di quanto non sia stato negli ultimi venticinque anni. Tra trent'anni si potrebbe arrivare ad assistere alla presenza massiccia di stampanti industriali 3D all'interno delle fabbriche. Per ora, una delle soluzioni che è stata messa a punto per ridurre i tempi di produzione, è quella adoperata da alcune macchine che stampano per estrusione. In questo caso, si utilizzano due ugelli per stampare con più colori, con più tipi di polimeri o per eseguire più stampe contemporaneamente. Stampare contemporaneamente più oggetti permette di aumentare la velocità complessiva e ridurre i costi, dato che si utilizza lo stesso volume di stampa riscaldato. La Replicator 2X della MakerBot è un esempio di stampante costruita con due ugelli.

4.2. *Short-Run Production*

Talvolta le imprese producono quantità limitate di un determinato prodotto realizzando quelle che vengono definite *short-run production*, o produzioni su piccola scala.
Le ragioni che le spingono le aziende a fare ciò possono essere delle più varie:

- i beni vengono realizzati con gli stessi materiali con cui verranno prodotti per essere venduti. Questo per effettuare test, sperimentazioni cliniche, ottenere approvazioni FDA[38] nel caso degli USA, ecc.;
- accelerare la filosofia del *first-to-market: si* prova ad immettere una quantità limitata di prodotti all'interno del mercato per studiare la reazione dei consumatori e nel frattempo si produce il lotto di quantità elevata dello stesso prodotto;
- il target di un certo prodotto è una nicchia di mercato e non richiede volumi produttivi elevati.

In generale, si può anche affermare che le imprese producono quantità limitate di due tipi di prodotti: i prototipi, modelli di base che danno origine alla produzione in serie, e i prodotti finiti, ovvero beni pronti ad essere utilizzati direttamente dal consumatore finale.

38 FDA (*Food and Drug Administration*): Agenzia per gli Alimenti e i medicinali, è l'ente governativo statunitense che si occupa della regolamentazione dei prodotti alimentari e farmaceutici. Esso dipende dal Dipartimento della Salute e dei Servizi Umani degli Stati Uniti.

4.2.1 Rapid prototyping

Un prototipo può essere definito come l'antenato di quello che sarà il prodotto destinato a fare ingresso nel mercato. Il prototipo è un modello sul quale vengono effettuate una serie di prove ed esperimenti per individuare i punti di forza e di debolezza e per misurare l'efficienza del bene prima dare il via alla produzione in serie: durante la fase di sviluppo il prodotto viene modificato un po' alla volta consentendo di passare dalla versione base alla versione definitiva, idonea per essere prodotta e venduta.

Inizialmente tecnici, ingegneri, architetti, disegnatori e progettisti si basavano su disegni bidimensionali per costruire un prototipo.

Con il passare del tempo si poté usufruire di modelli tridimensionali.

La progettazione di un prototipo a tre dimensioni avviene tramite modellatori CAD che consentono di avere una rappresentazione virtuale molto realistica del prodotto reale.

Il progresso tecnologico della stampa 3D ha consentito la nascita del *rapid prototyping,* termine utilizzato per indicare il rapido processo di realizzazione di un prototipo attraverso la stampa tridimensionale dell'oggetto virtuale progettato con un programma CAD.

Figura 4.1: Prototipo della Sacrestia di Michelangelo a Firenze realizzato con la tecnica del *laser sintering* dal DIAPReM dell'Università di Ferrara. Fonte: www.unife.it/centri/diaprem

Questo ha portato a un cambiamento molto importante nel mondo dei professionisti perché ha consentito di toccare e studiare concretamente con mano ciò che fino a poco prima potevano vedere solamente in video.

Stampare il prototipo con la prototipazione rapida consente:

- risparmio di costi e di tempi;
- libertà di progettare forme complesse;
- possibilità di realizzare parti mobili assemblate, verificare il funzionamento e le

modifiche in tempo reale;

- miglior comunicazione e minori errori: è possibile determinare più efficacemente che cosa non funziona in un modello;
- miglior design: fattore correlato a un vantaggio redditizio sulla produzione.

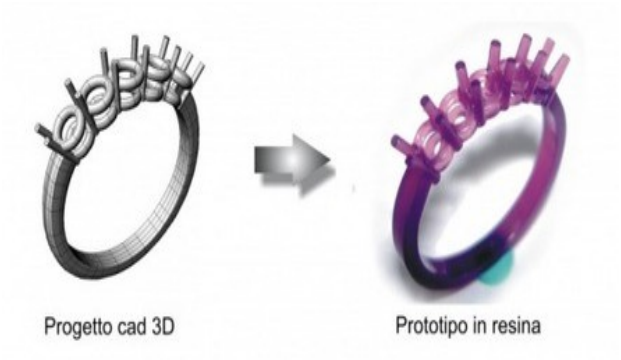


Figura 4.2: Prototipo di anello realizzato con la tecnica della FFF dall'impresa ID'a. Fonte:/www.idalabdesign.com

Il *rapid prototyping* è oggi la funzione principale della stampa 3D. Quest'ambito sembra adattarsi perfettamente a quelle che sono le attuali caratteristiche del *3D printing*: il livello di progresso tecnologico ottenuto non consente di produrre beni su larga scala ma rende possibile, come si vederà nel paragrafo successivo, di stampare oggetti in quantità limitata (si è giunti fino a 5.000 pezzi ma la media rimane sui 1.000 pezzi) con dettagli precisi e con forme complesse.

La prototipazione rapida prevede la creazione di un numero molto basso di modelli (uno o alcuni) ed è attiva in moltissime industrie. In quasi tutti i settori, infatti, prima di realizzare un prodotto in serie o uno strumento molto costoso si costruisce un prototipo. Alcuni settori in cui si utilizzano già sistemi di *rapid prototyping* sono: aeronautica, architettura, geografia, arte e intrattenimento, *automotive*, istruzione, gioielleria, medicale, dell'energia e del consumo in generale.

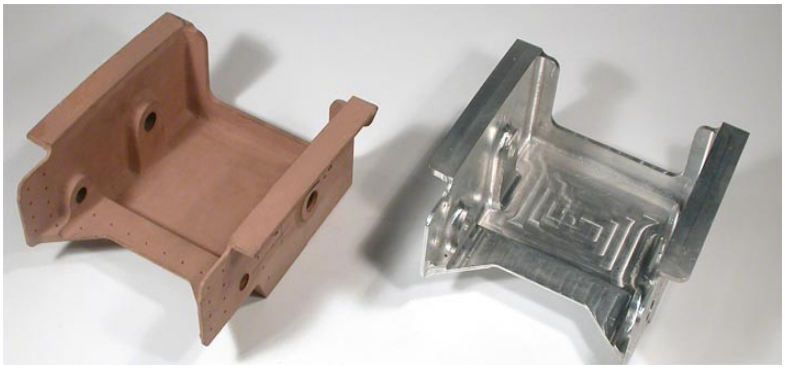


Figura 4.3: Esempio di prototipi in argilla e alluminio dell'impresa Lidio Poian di Monfalcone (GO), attiva nel settore aeronautico, racing, medicale e meccanico. Fonte:www.lidiopoian.com.

Per quanto riguarda le tecniche produttive che si prestano ad essere utilizzate, vista la vasta gamma di prototipi che possono essere creati la scelta varia a seconda dell'oggetto che si intende realizzare. Per esempio, nel settore dell'aeronautica si usa spesso il

metodo del *direct metal laser sintering* per la necessità di dare vita a prodotti realizzati con materiali altamente leggeri e incredibilmente resistenti allo stesso tempo, come il metallo. Nella *Figura 4.4* si propone un confronto tra le ore impiegate per la costruzione di un prototipo con il metodo tradizionale del CNC (controllo numerico) e le ore necessarie per attuare la prototipazione rapida con il metodo della SLA.

Lavorazione CNC		**Stereolitografia**	
Fase	**Tempo (h)**	**Fase**	**Tempo (h)**
Modello CAD	1	Modello CAD	1
Pianificazione processo	1	Generazione e verifica file .stl	1,25
Programmazione *toolpath*	25	Esecuzione *slicing*	0,7
Generazione file APT	1	Settaggio macchina	0,5
Post-processo	2	Costruzione pezzo	14,2
Verifica codice ISO	3	Rimozione supporti	0,25
Settaggio macchina utensile	1	Pulizia pezzo	0,5
Lavorazione	7	Post-trattamento	4
Totale	**41**	**Totale**	**22,45**

Tabella 4.2: Confronto delle ore impiegate per la prototipazione con il metodo tradizionale del CNC e con la tecnica della stereolitografia. Fonte: "Prototipazione rapida: la tecnologia per la competizione globale" di A.Gatto, L.Iuliano, 1997.

4.2.1 *Rapid manufacturing*

Come si è dimostrato nel *Paragrafo 4.1*, il *3D printing* non è utilizzato per la produzione su larga scala dei prodotti perché non risulta vantaggioso in termini di tempi e di costi.

Nella *mass production*, i metodi tradizionali prevedono la creazione di uno stampo con il quale si realizza poi la produzione in serie. Lo stampo industriale è generalmente molto costoso perché viene costruito artigianalmente o tramite procedure elaborate e complesse. La produzione di migliaia di pezzi riesce ad ammortizzare molto facilmente i costi industriali ma, quando le serie sono limitate al centinaio di unità e gli stampi arrivano a costare anche 8.000 euro, l'abbattimento dei costi risulta più difficile.

Qui entrano in gioco le stampanti 3D. Nel report annuale sulla manifattura additiva del 2009 alcuni studiosi definiscono il *3D printing* quale "prossimo livello tecnologico"

della manifattura, nel report del 2012 invece si afferma che il 24% di tutto il denaro speso in prodotti e servizi di AM è destinato direttamente alla produzione di parti finali. I numeri dimostrano chiaramente che la manifattura additiva, definita anche *rapid manufaturing*, sta cercando intensamente di attirare l'attenzione del mondo industriale. Grazie alla messa a punto di materiali adeguati, è possibile adoperare le stampanti 3D per produrre pezzi personalizzati su richiesta o un numero di parti limitato, senza sostenere costi eccessivi. La stampa 3D può essere più competitiva dei metodi tradizionali nel realizzare *short-run production*, ovvero produzioni limitate di unità. La tabella qui di seguito elenca i benefici e le sfide che rilascia e a cui è sottoposta la manifattura additiva.

Benefici	Sfide
Costi ridotti rispetto alle tecnologie tradizionali, specialmente per pezzi piccoli.	Dimensioni limitate degli oggetti.
Possibilità di modificare o personalizzare velocemente il prodotto durante il ciclo produttivo.	Range limitato dei materiali.
Creazione rapida di modelli fisici.	Precisione e accuratezza limitate e condizionate dalla tecnologia utilizzata.
Possibilità di creare parti con geometrie complesse, difficilmente realizzabili con le macchine.	Necessità di introdurre approssimazioni.
Maggiore resistenza dei prodotti rispetto a quelli fabbricati con stampi ad iniezione.	
Parti assemblate e consolidate in un'unica unità, eliminando il tempo di lavoro dell'assemblaggio.	
La concorrenza è abbastanza uniformata a livello mondiale perché i prezzi e i costi per i sistemi di AM sono più o meno gli stessi.	

Tabella 4.3: Benefici e sfide per l''uso della stampa 3D nel *rapid manufacturing*.

Le Wagner Companies, impresa di Milwaukee specializzata nella realizzazione di ringhiere su misura e prodotti in metallo per usi industriali ed architetturali, aveva sviluppato un attrezzo basato su un cardine che le consentiva di cambiare leggermente l'angolo di un LED e ridirigere il fascio di luce in maniera più efficiente verso un altro angolo. La Wagner necessitava di 100 cardini e il costo per dotarsi dello stampo

industriale sarebbe ammontato a 10.000 dollari. Un'impresa commissionata dalle Wagner Companies constatò che stampare 100 copie del cardine in plastica acrilica con il modello ProJet3500 (basata sulla tecnologia MultiJet) della 3D Systems sarebbe venuto a costare un decimo (circa 1.000 dollari) di quanto invece stimato per acquistare lo stampo. Si procedette con la manifattura additiva. I vantaggi non si ebbero solo sul fronte monetario, anche la tempistica fu molto favorevole: l'impresa ottenne la disponibilità dei cardini in un paio di giorni anziché attendere delle settimane.

Figura 4.4: Nell'immagine a sinistra abbiamo i cardini con il supporto di cera appena stampati con la tecnica *MultiJet* della Wagner Companies. Nell'immagine centrale gli stessi cardini senza il supporto di cera; nell'immagine a destra i cardini in dettaglio. Fonte: www.3dsystems.com

Tra le varie tecniche produttive di stampa 3D, alcune sono più attive di altre nel campo del *rapid manufacturing*. Il *laser sintering* è il metodo di manifattura additiva che si sta sviluppando di più tra tutti i sistemi di manifattura a strati ed è quello più scelto quando si tratta di stampare bassi volumi. Esso dà ai progettisti la massima libertà di iniziativa: questa tecnica si presta a realizzare forme complesse con materiali leggeri grazie alla mancanza di necessità di usare supporti durante la fase di costruzione. Un sistema di questo tipo consente di creare componenti funzionali con un solo passaggio produttivo e porta dei vantaggi anche dal punto di vista dei costi.

Inoltre, grazie alla stampa 3D, eventuali cambiamenti o modifiche del progetto originale possono essere apportati in qualsiasi momento e il rischio di dover attendere molto tempo per avere il bene ultimato non è più un problema grazie alla riduzione notevole della tempistica di produzione. Un altro vantaggio è la possibilità di riprodurre oggetti uguali a quelli già stampati in qualsiasi momento lo si desideri (grazie al salvataggio del file CAD in formato digitale).

Infine, la manifattura additiva garantisce maggiore efficienza nell'uso dei materiali rispetto ai metodi tradizionali: un apparecchio di sinterizzazione indurisce il materiale solo dove necessario e quello non solidificato può essere riciclato e riutilizzato nel processo di produzione.

Riassumendo, la sinterizzazione laser di materiali plastici e metallici consente:

1. risparmi di costo: parti complete e pronte per l'uso vengono prodotte senza stampi o attrezzature particolari;
2. risparmi di tempo: da progetti 3D a parti complesse in giorni e non mesi;
3. libertà nella progettazione: geometrie interne, canali di raffreddamento e strutture in lattice;
4. proprietà dei materiali: possono essere realizzate parti leggere e resistenti.

Un importante produttore di stampanti 3D che usa la stereolitografia, il SLS e il MJM per la manifattura additiva è 3D Systems. 3D Systems è attiva nei seguenti settori:

- Industria aeronautica e militare: la produzione 3D di condotti, sfiati e catenacci è stata considerata altamente di successo in quest'industria grazie ad una riduzione nel numero di parti utilizzate e del tempo di produzione e modifica del *design*;
- Prodotti industriali e di consumo: le società stanno acquisendo una quota di mercato sempre maggiore usando la manifattura additiva, detta anche *direct digital manufacture (DDM)*,per produzioni a edizione limitata o customizzate;
- Arte e interior design: vi è libertà illimitata di progettazione. Essa varia in diversi ambiti: da paralumi e dai gioielli alle sculture personalizzate e le collezioni per i musei;
- Linee di assemblaggio: i produttori stanno aumentando l'uso della manifattura additiva per realizzare strutture di montaggio, impianti, trapani e sostegni per l'assemblaggio dei pezzi;
- Industria medicale: l'introduzione della manifattura additiva significa poter avere apparecchi acustici, impianti dentali e chirurgici fatti su misura. Queste parti vengono costruite con molta precisione e abilità.

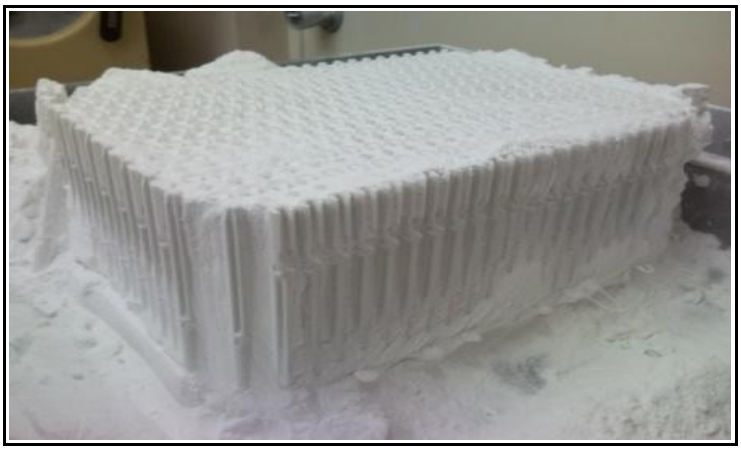


Figura 4.5: Le 500 spille appena stampate con la tecniche del SLS per la società Minelab Electronics. Fonte: www.3dsystems.com.

A dimostrazione dell'efficienza del SLS nel *rapid manufacturing* vengono qui menzionati tre esempi. I primi vedono come protagonista la società Formero, un'impresa che realizza prototipi e manifattura additiva tramite la tecnologia SLS di *3D* Systems.

Il primo riguarda il produttore di metal detector, Minelab Electronic. Alla ricerca di un metodo per ampliare le capacità del F3 Mine Detector al fine di incontrare più efficacemente le esigenze dei clienti, i manager avevano bisogno di produrre 500 spille. Anziché attendere settimane o mesi per ricevere le parti, fu proposta a Minelab la manifattura additiva. Per stampare 500 spille (in poliammide) ci vollero 38 ore: le parti erano state ordinate il 28 maggio e furono consegnate l'1 giugno.

Il secondo caso di studio riguarda la la società di architettura Walterbroke. Gli architetti che vi lavorano sono famosi per la loro abilità nel creare spazi complessi, eccitanti e divertenti, che coinvolgono i sensi, funzionano efficientemente e rispondono positivamente all'ambiente.

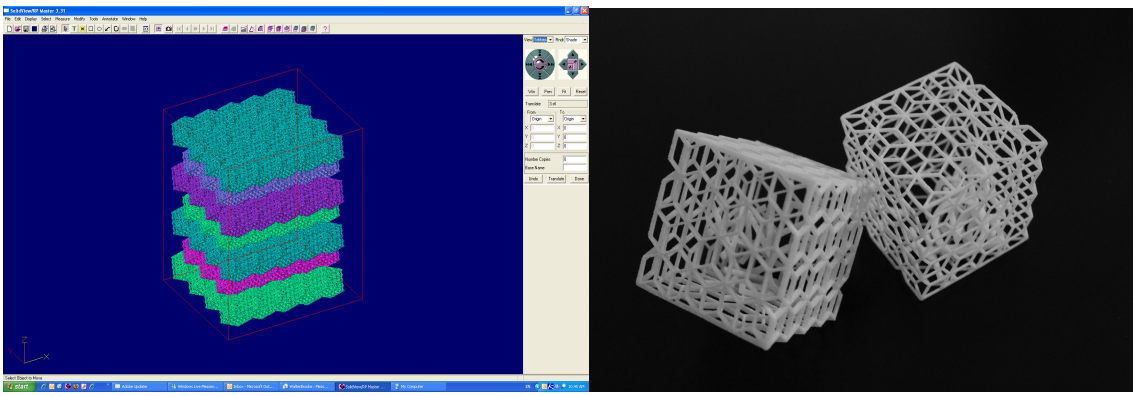


Figura 4.6: Rappresentazioni virtuali dei cubi-regalo con scritta interna della Walterbroke per l'annuale cena di Natale. Fonte: www.3dsystems.com

Per l'annuale cena di natale Walterbroke voleva creare un regalo originale che consisteva in un'interpretazione architettonica di una geometria complessa di un fiocco di neve. Si arrivò a progettare un “cubo realizzato come una rete” che recava all'interno, libero di fluttuare, il nome Walterbroke. Molti pensarono che il progetto non fosse fattibile. Le parti furono costruite con nylon vuoto all'interno e la macchina venne caricata solo tre volte in totale. Dopo il processo, le parti rimosse non necessitavano di ulteriori lavorazioni; solo alcune vennero sottoposte ad una colorazione rapida per aggiungere un bagliore di colore. Il progetto fu completo in meno di due settimane: un tempo impossibile con le tecniche tradizionali.

Figura 4.7: Jim Williams, presidente della Paramount PDS, società della 3D Systems specializzata nello sviluppo di prodotti, presenta le valvole di controllo Honeywell come un grande esempio dell'efficienza della tecnologia SLS per le applicazioni finali. Fonte: http://www.paramountind.com.

L'ultimo esempio dimostra effettivamente l'applicazione diretta degli oggetti prodotti. Nel settore aeronautico fu costruito un motore per la società Honeywell caratterizzato da quattro valvole di controllo. Il *laser sintering* consentì di realizzare le valvole con un materiale leggero come il nylon anziché con la più pesante carbon-fibra. Ogni settimana furono prodotte 80 valvole di controllo con la tecnologia SLS. Boeing costruì 372 aerei. Il numero può essere ritenuto basso ma, se si considerano tutte le variazioni interne che ci sono da un aereo all'altro, i dati dovrebbero restringersi ulteriormente. Inoltre, ci si aspetta che queste valvole perdurino a lungo, fino a 50 anni. Nessun'altra tecnologia avrebbe consentito di costruire parti finali complesse in maniera economica e in tempi così brevi.

Per quanto riguarda invece la tecnica del *direct metal laser sintering*, molto simile a quella appena descritta ma differente per i tipi di materiali utilizzati (con il DMLS solo metalli), la produttrice europea EOS annovera alcune esperienze nel campo della manifattura. L'impresa Rapid Quality Manufacturing Inc.[39] utilizza la tecnologia DMLS di EOS ed è una delle imprese leader nella produzione manifatturiera tramite tecnologie *freeform fabrication*. RQM sta producendo partite che arrivano fino a 5.000 pezzi.

4.3. Produzione personalizzata

Negli ultimi anni sta dilagando tra i consumatori la tendenza di personalizzare gli oggetti che si acquistano. Un prodotto personalizzato è un bene o un servizio che presenta elementi o caratteristiche scelte dai soggetti sulla base delle loro preferenze ed esigenze. I clienti desiderano possedere ed esibire prodotti con proprietà selezionate accuratamente da loro, appagando così il bisogno di distinguersi dagli altri.

Frutto delle preferenze e dei gusti individuali o voglia di dichiarare al mondo la propria personalità come conseguenza di una proverbiale insicurezza cronica indotta dal conformismo della società di massa? Qualunque sia la ragione che li spinge a fare ciò, i consumatori vogliono avere un prodotto unico, diverso dagli altri, vogliono avere la possibilità di interagire direttamente con il produttore e scegliere in prima persona la forma, il colore, gli accessori e i servizi di cui disporre.

Nel 2000, Gilmore e Pine[40] classificano i tipi di personalizzazione in quattro tipi:

- *Collaborativa*: relazione stretta, dialogo intenso tra impresa e singolo. Dell, ad esempio, si serve di sistemi guida che riducono la competenza necessaria al cliente per l'utilizzo del computer;
- *Adattiva*: beni e servizi con molte componenti standard che possono essere attivate o meno ed essere usate in modi differenti. I telefoni cellulare sono un esempio: l'utilizzatore personalizza la suoneria, i volumi, lo sfondo dello schermo ecc.;
- *Cosmetica*: ha finalità puramente estetiche e di comunicazione. Un esempio è la personalizzazione di penne, cancelleria, abbigliamento e utensili.

39 Rapid Quality Manufacturing Inc.: società che ha sede a West Chester, Ohio, ed è parte del gruppo Morris Technologies.

40 James H. Gilmore e B. Joseph Pine: autori americani di libri che trattano di economia e società.

- *Trasparente*: si basa su una relazione di lungo termine e grazie alle informazioni che l'impresa possiede del cliente si possono studiare soluzioni personalizzate, con o senza la partecipazione del cliente al processo di personalizzazione. Per esempio, le catene alberghiere conoscono informazioni sui manager grazie ai dati contenuti nei database: preferenze per la cena, tipo di camera e consumi al minibar.

Un caso molto recente di personalizzazione è rappresentato dalla campagna "*Share a Coke*" attuata in Italia nel maggio del 2013 da Coca-Cola. Dopo 127 anni, la scritta Coca-Cola che compariva sulle lattine e sulle bottigliette è stata sostituita da nomi generici dei consumatori: 150 nomi di battesimo tra i più diffusi tra i teenager italiani, espressioni come "amore", "lui" o "lei". Lo scopo è quello di cercare un *brand love* che possa piacere ai teenager e scatenare un effetto virale. Classificando il tipo di strategia di marketing attuata da Coca-Cola si definirebbe un'iniziativa di *mass customization*: si è in presenza di un prodotto standard a basso costo e personalizzato.

Il 3D printing consente oggi una personalizzazione dei prodotti molto più radicale e conveniente di quanto non si possa fare con i metodi tradizionali. I due macro tipi di personalizzazione usati nell'ambito della stampa tridimensionale sono la *mass customization*, che punta a personalizzare i prodotti preservando i vantaggi della produzione su larga scala, e la personalizzazione in senso stretto, secondo la quale i beni e i servizi vengono costruiti seguendo completamente le esigenze del singolo.

Qui di seguito si eseguirà una considerazione attenta sull'uso del *3D printing* come strumento capace di elaborare prodotti che rispettino le necessità e le peculiarità degli individui.

4.3.1. Mass customization

La *mass customization* si colloca in una posizione intermedia tra la standardizzazione e l'offerta personalizzata ad un solo cliente. Essa prevede la costruzione di un'offerta diretta ad un singolo individuo con una forte presenza di componenti standard. L'esempio più classico nell'ambito della *mass customization* è quello che viene proposto dalla multinazionale produttrice di scarpe da ginnastica Nike. Per assecondare le esigenze dei propri consumatori, la casa produttrice ha messo a punto un modello di

scarpe personalizzabili, le Nike ID. Attraverso il sito web ufficiale gli utenti sono in grado di modificare il colore e altre caratteristiche delle *sneakers*. Altri esempi di *mass customization* sono offerti da marchi famosi nel panorama internazionale come la produttrice di occhiali RayBan, che ha messo in campo l'iniziativa RayBan Remix, attraverso la quale è possibile costruire il proprio paio di occhiali scegliendo il modello e i colori che si preferiscono e incidendo una scritta personalizzata a piacere.

Il *3D printing* offre un livello di personalizzazione superiore rispetto a quella attuata con i metodi tradizionali. Si tratta di un tipo di *mass customization* che rende i soggetti autori dei propri prodotti: le variabili di personalizzazione le sceglie l'utente.

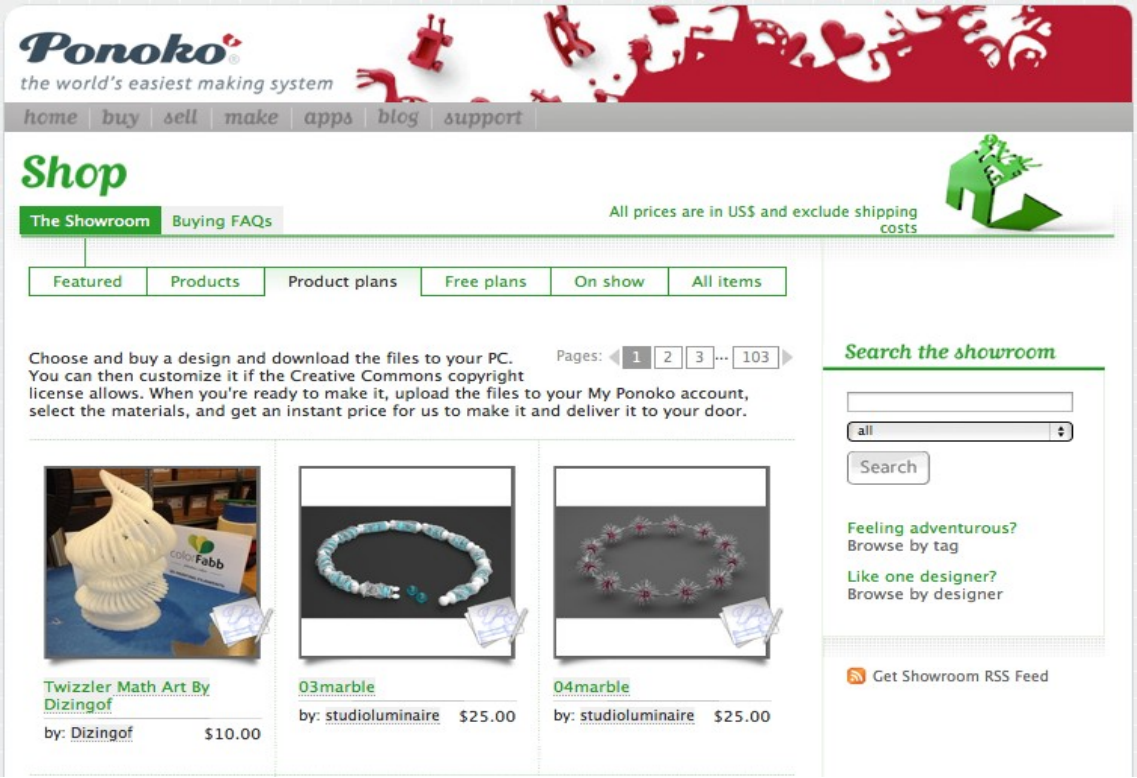
Attraverso il proprio computer, un soggetto è in grado di modificare non solo il colore o la scritta di un prodotto, egli può apportare modiche anche alla forma. Entrando nella pratica il concetto sarà di più facile comprensione. Nel capitolo tre (*Paragrafo 3.6.*) sono state studiate due piattaforme attraverso le quali è possibile accedere ai progetti di *3D printing* creati da altri utenti.

REMIX YOUR RAY-BAN
NEW WAYFARER - OPACO
1. SCEGLI UN MODELLO
2. REMIXA I COLORI COME VUOI TU
3. INCIDI LA TUA SCRITTA PERSONALIZZATA
Figura 4.8: Servizio online di personalizzazione degli occhiali proposto dalla marca RayBan. Fonte: www.ray-ban.com.

Su Shapeways e Ponoko è possibile acquistare oggetti progettati da atri utenti, acquistare o scaricare gratuitamente progetti caricati da altri utenti oppure caricare e condividere i propri disegni personali affinché qualcuno li compri. Per quanto riguarda l'opzione di acquistare i progetti che sono disponibili online, nel momento in cui si scarica il file del modello sul proprio computer, questi disegni possono essere modificati con un programma CAD dall'utente che li ha acquistati. Tuttavia, è opportuno sottolineare che non tutti i progetti che si possono scaricare sono modificabili dall'utente: in entrambe i casi questo viene specificato prima dell'acquisto.

La possibilità di personalizzazione che offre il *3D printing* è quindi notevole. Gli utenti possono dare la propria impronta agli oggetti che producono in modo più radicale di quanto non si possa fare con i mezzi tradizionali. Con questi ultimi, infatti, non si garantisce la massimizzazione della soddisfazione del consumatore ma solamente un

buon grado compatibilità della soluzione offerta.


Ponoko
the world's easiest making system
home buy sell make apps blog support
Shop
The Showroom
Buying FAQs
All prices are in US$ and exclude shipping costs
Featured
Products
Product plans
Free plans
On show
All items
Choose and buy a design and download the files to your PC.
You can then customize it if the Creative Commons copyright license allows. When you're ready to make it, upload the files to your My Ponoko account, select the materials, and get an instant price for us to make it and deliver it to your door.
Pages: 1 2 3 ... 103
Search the showroom
all
Search
Feeling adventurous?
Browse by tag
Like one designer?
Browse by designer
Get Showroom RSS Feed
Twizzler Math Art By Dizingof
by: Dizingof $10.00
03marble
by: studioluminaire $25.00
04marble
by: studioluminaire $25.00
Figura 4.9: Piattaforma online Ponoko, aperta sulla finestra degli acquisti di progetti a pagamento.
Fonte: www.ponoko.com

Una delle differenze principali tra i metodi tradizionali e la stampa 3D è che i primi prevedono una produzione standardizzata per riuscire a contenere i costi; con il *3D printing* invece, i prodotti non sono realizzati in serie ma uno alla volta, quindi l'eventuale personalizzazione non inciderebbe sui costi di produzione.

Con il passare del tempo potrebbero anche nascere delle imprese specializzate in un certo ambito industriale che vendono il loro lavoro intellettuale attraverso una piattaforma online. Queste piattaforme potrebbero vendere disegni di oggetti realizzati da lavoratori professionisti dell'impresa: gli utenti possono acquistare i progetti e personalizzarli a loro gusto e piacimento. Una volta effettuato questo, gli oggetti potrebbero essere stampati sia dall'utente, qualora possedesse una stampante tridimensionale, o dall'impresa proprietaria della piattaforma. Per esempio, un'impresa di arredamento per interni potrebbe creare la propria piattaforma ed esporre una serie progetti di sedie, mobiletti e suppellettili di vario genere realizzati dagli *interior*

designer che lavorano per l'impresa stessa. L'utente che visita la piattaforma proposta dall'impresa potrebbe trovare interessante il progetto di una sedia e decidere di modificare lo schienale per dargli una forma anatomica in grado di assecondare i suoi problemi di schiena. Una volta ultimato il progetto della sedia, l'utente potrebbe commissionare la stampa all'impresa o arrangiarsi da solo.

Questo modello economico è solo un esempio delle tante soluzioni che possono essere messe in atto con la stampa 3D. Tale sistema permetterebbe di valorizzare la creatività, l'ingegno e il know-how degli individui che, tramite Internet, potrebbero riuscire a vendere direttamente le proprie idee e i propri progetti al consumatore.

Alcuni anni or sono, durante il periodo della crisi, il ministro del lavoro italiano aveva sottolineato la necessità per l'Italia di far leva sul lavoro intellettuale e sull'originalità, fattori che da sempre hanno contraddistinto gli italiani. Purtroppo si stava assistendo e si continua ad assistere oggi al fenomeno della delocalizzazione degli stabilimenti di produzione industriale all'estero. Questo è dovuto ad un fatto triste ed inarrestabile: il mantenimento della produzione in patria comporta costi superiori rispetto a quelli che si sostengono spostando gli stabilimenti all'estero. Per cercare di porre rimedio a questa situazione si devono studiare quindi delle soluzioni alternative al lavoro nelle industrie e si deve sfruttare il progresso tecnologico per essere più efficienti: la stampa 3D, Internet e la personalizzazione potrebbero essere la risposta giusta.

4.3.1. Personalizzazione

Nella sua accezione più pura, la personalizzazione, o *personalization*, è l'azione di progettare un bene o un servizio appositamente per un individuo. La tecnologia ha reso possibile personalizzare la pubblicità, i contenuti da consultare nel web e moltissimi altri servizi, molti di più di quanto sia possibile rendersene conto, tutto secondo i gusti, le esigenze e la personalità dell'utente. Per esempio, YouTube, il sito di video in streaming più diffuso al mondo, suggerisce all'utente una serie di video correlati per argomento o genere a quanto appena visto. Ancora, le app TV suggeriscono di vedere alcuni *show* sulla base di quelli a cui si è assistito; il sito TicketOne, tramite il quale è possibile acquistare biglietti per spettacoli o concerti, invia una newsletter personalizzata con gli spettacoli futuri a cui l'utente può essere interessato sulla base di

quelli per cui ha già acquistato dei biglietti in passato. In ambito non virtuale, per il *merchandising* possono essere personalizzate magliette, tazze, calendari ecc.

In Italia, i mercati personalizzati nascono alla fine di un'evoluzione storica che vede, negli anni cinquanta-sessanta l'affermazione dei mercati di massa e negli anni settanta-ottanta il successivo prevalere dei mercati frammentati, come conseguenza del raggruppamento dei consumatori in segmenti accomunati da gusti, passioni e preferenze. Negli anni novanta è la volta della personalizzazione dei beni. La fase di transito dai mercati frammentati a quelli personalizzati è dovuta ad una maggiore diversificazione dei gruppi di consumatori, la cui dimensione diventava sempre più piccola, non riuscendo più a costituire un sub-mercato. La spinta alla personalizzazione polverizza i segmenti. Il mercato non è più diviso in segmenti perché non ci sono abbastanza persone con una gamma di preferenze uniformi per costituire un gruppo. Il mercato vede le imprese rapportarsi direttamente ai singoli clienti, utilizzando per la maggior parte dei casi la rete Internet.

La personalizzazione riguarda per eccellenza, quindi, la produzione su piccola scala. È necessario riflettere su quest'ultima constatazione per riuscire a giungere al nodo cruciale del paragrafo, o addirittura del capitolo. Si può fare un ragionamento coerente che porta ad una soluzione quasi inevitabile alla luce delle conoscenze che sono state acquisite fino a questo momento.

La personalizzazione dei servizi interattivi disponibili in rete non prevede costi eccessivi anzi, la loro realizzazione risulta piuttosto semplificata ed economica grazie alla tecnologia. Per quello che interessa, invece, i beni tangibili, i costi per produrli sono alti.

I costi fissi sono elevati e molto spesso non vengono coperti dal prezzo della transazione. Con i mezzi tradizionali la produzione personalizzata non può beneficiare dei risparmi di costo che si possono ottenere attraverso un'azione combinata tra standardizzazione e dimensione di economie di apprendimento e di scala. Inoltre, se i prodotti da realizzare hanno caratteristiche molto diverse tra loro e non è possibile neanche il completamento dei lotti produttivi minimi, allora potrebbero non essere raggiunte neanche le economie di impianto.

Nel corso del tempo la crescita di importanza degli aspetti immateriali dell'offerta e

l'avanzamento tecnologico hanno avuto un impatto positivo, causando l'abbassamento della soglia economica della dimensione produttiva. Malgrado questi vantaggi però, i costi di una produzione non standardizzata con i metodi tradizionali sono ancora troppo alti e in molti ambiti non si riescono a personalizzare i prodotti per un singolo individuo o per un gruppo ristretto di clienti.

Oltre ai costi di produzione si devono sostenere anche le spese relative al tempo e al personale coinvolto nelle operazioni di raccolta e selezione delle informazioni riguardanti i consumatori (tendenze, gusti, preferenze e desideri), i cosiddetti costi di raccolta informativa. Questi consentono di stabilire una relazione profonda con il cliente perché quanto più si conoscono le persone, tanto più facile diventa personalizzare l'offerta ed essere competitivi. Per risolvere il problema della raccolta informativa è stato offerto un grande contributo da parte di Internet: le imprese possono fare ricerche di mercato molto più agevolmente rispetto ad un tempo, possono inquadrare il mercato e segmentare i consumatori più facilmente e riescono ad abbattere i costi di raccolta e di gestione delle informazioni, divenendo un motore importante per i processi di personalizzazione.

Con i mezzi tradizionali, finora, non si è trovata nessuna soluzione capace di ridurre i costi relativi alla produzione di oggetti personalizzati. Si tratta di un circolo virtuoso, proprio come viene rappresentato nella *Figura 4.12*.

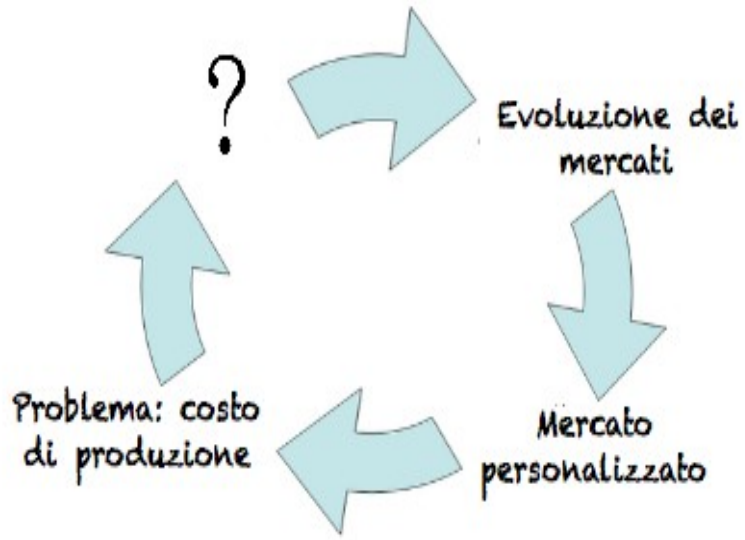


Figura 4.10: Circolo virtuoso. L'evoluzione dei mercati porta all'affermazione dei mercati personalizzati. I mercati personalizzati comportano costi di produzione dei beni con i metodi tradizionali troppo elevati.

La soluzione è la stampa tridimensionale. La stampante 3D non necessita di stampi costosi come nel caso della produzione in serie, essa costruisce in modo economico un prodotto alla volta. Questo dà ai progettisti la libertà di realizzare qualunque tipo di oggetto, con qualunque forma, entro i limiti di dimensione e capacità delle stampanti 3D, a costi contenuti. Con il proprio progetto realizzato in CAD ed un clic sul computer è possibile dare via al processo di costruzione di un oggetto economico e personalizzato e, qualora il risultato non fosse abbastanza soddisfacente, sarebbe sufficiente modificare il progetto e iniziare una nuova stampa.

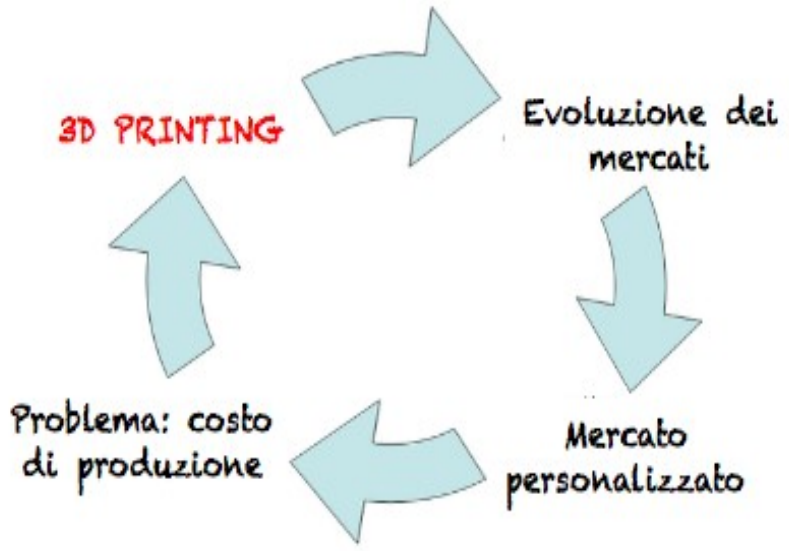


Figura 4.11: Circolo virtuoso. L'evoluzione dei mercati porta all'affermazione dei mercati personalizzati. I mercati personalizzati comportano costi di produzione dei beni con i metodi tradizionali troppo elevati. Il problema dei costi di produzione troppo elevati vengono risolti dal *3D printing,* tecnica produttiva capace di produrre quantità limitate di beni a basso costo.

Gli oggetti che si possono realizzare con la stampa 3D sono di qualunque tipo: dalle cover per i telefoni cellulare, alle cinture e le scarpe. La gamma di oggetti che potenzialmente si presta ad essere personalizzata è veramente estesa. Per quanto riguarda gli oggetti di consumo o la gioielleria ad esempio, le imprese possono proporre i progetti di base degli oggetti e lasciare che siano poi gli utenti a personalizzarli tramite un modellatore CAD, aggiungendo dettagli e modificando forme a loro piacimento.
Articoli di consumo, design e gioielleria non sono gli unici ambiti in cui si può avere personalizzazione. Quest'ultima può avere una valenza più profonda, quasi etica: si può

utilizzare in ambiti come la medicina o l'odontoiatria. Dopo la creazione dei vasi sanguigni nel 2011 ad opera dell'Istituto Fraunhofer di Stoccarda, la stampa 3D può superare molte barriere che sembrano insormontabili. La personalizzazione nella medicina può consistere per esempio nella creazione di un organo artificiale fatto su misura per un paziente malato. Ancora, nel settore odontoiatrico, si possono creare delle protesi dentarie configurate a doc per la dentatura del cliente.

Al contrario delle protesi dentarie, la personalizzazione degli organi umani non è ancora effettuata ma gli studi sono in corso e l'attuazione si potrebbe avere in un futuro davvero prossimo. Oltre al settore medico e dentistico, ci sono personalizzazioni anche nel settore *automotive,* aeronautico, architettura, arte e intrattenimento e molti altri.

Nei paragrafi successivi si tratterà nello specifico ciascuna applicazione industriale e si avrà l'occasione di scoprire l'apporto e la capacità di personalizzazione della stampa 3D in ogni settore. La funzione principale del *3D printing*, oltre alla prototipazione rapida, è la personalizzazione: le svariate tecniche produttive della stampa tridimensionale consentono di personalizzare i prodotti più disparati, dalle torte al cioccolato ai tessuti umani.

4.4. Il *3D printing* sfrutta la rete Internet come mezzo di diffusione

Il ruolo di Internet nel *3D printing* è sicuramente di primaria importanza. Questo concetto dovrebbe essere piuttosto chiaro grazie ai numerosi accenni che sono stati eseguiti fino a questo momento in merito al collegamento di Internet e della stampa 3D quali strumenti quasi imprescindibili l'uno per l'altro. La rete può essere definita come il canale di distribuzione e di diffusione del *3D printing*.

Nel marketing di relazione[41] si è discusso più volte della funzione detenuta da Internet come strumento in grado di far interagire i consumatori accomunati dagli stessi interessi o passioni. Molte strategie di marketing hanno come traguardo la fidelizzazione del cliente: un cliente fedele acquista più prodotti dell'azienda, attira nuovi clienti, è meno costoso da servire ed è disposto a pagare un *premium price*[42] per ottenere un certo

41 Marketing di relazione: è una branca del marketing che ha come obiettivo l'accrescimento della relazione con il cliente attraverso la fidelizzazione. Si pone l'individuo al centro della relazione.

42 *Premium price*: è il prezzo in più che i clienti sono disposti a pagare rispetto al prezzo delle imprese concorrenti. In generale è una dimostrazione della fedeltà del cliente.

prodotto. Uno strumento essenziale a cui le imprese fanno ricorso per fidelizzare la clientela sono attività di internet marketing.

Internet e altri strumenti di comunicazione interattiva coinvolgono il cliente nella progettazione del prodotto e permettono all'impresa di realizzare più facilmente prodotti personalizzati, risultato della diretta collaborazione tra acquirente e venditore. Nel caso del *3D printing,* la personalizzazione dei prodotti può essere eseguita direttamente dal singolo.

La rete è un mezzo attraverso il quale il *3D printing* può farsi conoscere, ma non solo. Le più volte citate piattaforme Shapeways e Ponoko possono essere considerate il principale canale e-commerce dei progetti e degli oggetti stampati tridimensionalmente. Non solo, insieme a Thingiverse e Cubify sono anche le più importanti community di *3D printing* che fino a questo momento sono state fondate.

Sempre più aziende iniziano ad adottare tecniche di produzione additiva e questo viene spesso messo in evidenza nei siti web proprietari come strumento di avanguardia tecnologica dell'impresa.

4.5. Industrie e mercati di applicazione

La manifattura additiva sta portando innovazioni interessanti sotto molti aspetti, in svariate industrie. Questi cambiamenti riguardano nuovi modi di produrre componenti che prima venivano realizzati con i metodi tradizionali. Molto spesso ci si imbatte in una palese riluttanza delle persone nell'imboccare strade che non siano quelle già percorse, si abbandonano difficilmente strumenti fidati e garantiti che non hanno mai dato delusioni. Il *3D printing* è una nuova sfida e, come ogni cosa nuova, desta dubbi e perplessità. L'adozione di una nuova tecnologia da parte del pubblico può essere più o meno lenta, per varie ragioni. Prove e testimonianze tangibili dimostrano che la stampa tridimensionale si sta facendo largo piano piano nelle varie industrie con soluzioni applicative valide. Qui di seguito vengono esaminati da vicino i principali settori industriali in cui la stampa 3D è attiva, ponendola a confronto, quando possibile, con i tradizionali metodi produttivi.

4.5.1. Industria aerospaziale/ Difesa militare

L'industria aerospaziale è uno dei mercati chiave per la crescita della manifattura additiva. Questo settore richiede la produzione di parti realizzate in maniera quasi perfetta che possiedano proprietà fondamentali come la resistenza dei materiali. Gli adattamenti specifici e personalizzati e la produzione di serie limitate di prodotti sono aspetti positivi garantiti dalla produzione additiva che, con i metodi tradizionali, comporterebbero un iter molto più complesso e costoso. Questi sono solo alcuni dei motivi per cui le compagnie aeree leader hanno integrato la manifattura additiva nella programmazione delle strategie di produzioni future.

Nel settore aerospaziale, il *3D printing* è principalmente utilizzato per:

- *rapid prototyping*;
- creare strumenti e parti pronte per essere utilizzate:

Le tecniche produttive che vengono principalmente utilizzate in quest'ambito sono il *laser sintering*, il *direct laser metal sintering*, l'*electron beam melting* e la tecnica *polyjet/multijet* per la produzione di alcune parti. Nella tabella qui sotto sono elencati i principali vantaggi e svantaggi dell'adozione della manifattura additiva nell'industria aerospaziale.

Vantaggi	Svantaggi
Riduzione dei costi	Tempi di produzione lunghi
Lead-time più brevi	Più prototipazione che produzione di parti finali
Minore peso dei materiali	
Nuove possibilità di progettazione	
Maggiore adattabilità delle parti	
Minore consumo di carburante ed emissioni di CO_b	
Short-run production	

Tabella 4.4: Vantaggi e svantaggi della manifattura additiva nell'industria aerospaziale. Fonte: www.arcam.com; www.eos.info; www.stratasys.com; www.3D systems.com.

Uno dei fattori innovativi maggiori portati dalla produzione additiva in quest'ambito è la riduzione del peso delle parti prodotte. Nella comunità dell'industria aerospaziale si utilizza spesso un indicatore di peso che è la percentuale Buy-to-Fly, ovvero il rapporto

espresso in percentuale tra il peso delle materie prime utilizzate per produrre la parte e il peso della parte stessa. Normalmente questo indicatore è 15-20 ma con il processo di *electron beam melting* il *Buy-to-Fly* può arrivare fino a 1. Con l'ottimizzazione del peso delle componenti si hanno anche minori costi delle materie prime e degli strumenti di produzione; inoltre, si ha un impatto sull'ambiente più salutare, con minor consumo di carburante e minori emissioni di anidride carbonica.

Grazie alla tecnologia delle stampanti 3D si possono avere lead-time più brevi perché non si è costretti a ricorrere obbligatoriamente ad alcuni fornitori dominanti ed attendere alcuni mesi per la produzione di alcuni progetti. Infine, come è stato sottolineato più volte, la produzione additiva garantisce la possibilità di realizzare parti adattabili e produrre quantità limitate di unità senza costi eccessivi. Il difetto più arduo con il quale si deve scontrare il *3D printing* è quello dei lunghi tempi di produzione: per realizzare una parte si impiegano ore se non giorni.

Figura 4.12: Lama di una turbina a bassa pressione in titanium aluminide realizzata da Avio S.p.A con la tecnologia EBM di Arcam AB (Svezia). Fonte: www.arcam.com.

La Pricewaterhouse Coopers, l'impresa di servizi professionali più grande al mondo e la più grande impresa di contabilità tra le "*Big Four*" secondo quanto misurato nel 2012, ha messo in evidenza alcuni lati negativi del metodo di EBM dell'impresa svedese Arcam. È stato affermato che il *3D printing* rimarrebbe confinato all'ambito dei prototipi e non determinerebbe alcun cambiamento significativo per l'industria, che la velocità di produzione non è ancora sufficiente per competere con i mezzi tradizionali e che la qualità della tecnologia EBM presenta difetti nelle parti prodotte, come per esempio micro-spazi nel materiale.

Mentre l'affermazione sui tempi di produzione risulta veritiera, il fatto che la stampa 3D rimarrebbe confinata alla prototipazione è un'ipotesi che per ora rimane solo una supposizione perché solamente con il passare del tempo si potrà confermare o smentire quest'asserzione. Per quanto riguarda, infine, la qualità dei materiali, il responsabile della qualità e il CEO della società Arcam contestano le critiche dicendo che quanto

affermato non si basa su fatti reali e comprovabili.

Per concludere il paragrafo del settore aeronautico è meritevole per la stampa 3D accennare alla volontà della NASA di dotare le proprie stazioni spaziali di tecnologie *3D printing*. Gli ingegneri hanno già progettato e testato una parte del motore di un razzo stampata in 3D.

4.5.2. Architettura

L'architettura è uno dei settori di applicazione tradizionali della stampa 3D. Da molto tempo a questa parte, infatti, si utilizza la tecnologia tridimensionale per dare vita a modelli di edifici e plastici. Si parla della creazione di prototipi con dettagli così precisi e proporzionati che riprendono tutte le fattezze della realtà. Prima dell'avvento della stampa 3D, gli architetti studiavano i loro progetti solamente dal punto di vista bidimensionale e, l'eventuale costruzione di prototipi tridimensionali era molto costosa a causa della lavorazione artigianale. Un modello su scala reale però, riesce a infondere sicurezza o impressionare più di qualsiasi altra cosa. I principali vantaggi della costruzione di prototipi tridimensionali con la stampa 3D in architettura sono:

1. realizzazione di modelli in modo rapido ed economico;
2. realizzazione di superfici e geometrie complesse;
3. migliore comunicazione con i clienti e maggiore successo;
4. dettagli e finiture superficiali di elevata qualità;
5. vasta gamma di materiali con cui realizzare i modelli.

Figura 4.13: Prototipo realizzato grazie alla tecnologia 3D Systems. Fonte: www.3dsystems .com.

Oltre ai modelli architetturali si realizzano anche mappe geografiche urbane o suburbane tridimensionali a costi minimi. Inoltre, i prototipi sono frequenti anche nel campo dell'ingegneria e delle costruzioni. Le tecniche più utilizzate in questi settori sono: la tecnologia Polyjet/Multijet, il f*used deposition modeling*, che consente di costruire parti più resistenti (rispetto al Polyjet) in termoplastica, e la stampa a getto d'inchiostro. Per avere un'idea di quanto tempo sia necessario per stampare un modello, si pensi che per stampare un prototipo a getto d'inchiostro di 18 x 14 x 20 cm sono necessarie 9 ore.

Sicuramente, in architettura, i progetti che vedono la produzione 3D del prodotto finale sono di nicchia. Un esempio si può vedere nella *Figura 4.16,* Villa Asserbo, in nome del villaggio a 60 chilometri da Copenaghen nel quale è nata. Progetto dello studio danese Eentileen e ribattezzata anche

"Eco casa del futuro", è stata costruita in sole quattro settimane utilizzando energia fotovoltaica e solare termica per limitare il fabbisogno energetico e di legname proveniente dalle vicine foreste finlandesi.

La cosa ancora più sensazionale è che si tratta di una casa stampata in 3D: grazie a 820 fogli di legno multistrato e una fresatrice a controllo numerico la costruzione ha preso vita dopo aver tagliato il legno nelle forme e nelle dimensioni predisposte per l'assemblaggio.

Figura 4.14: Interni ed esterni di Villa Asserbo, la prima casa interamente "stampata". Fonte: http://magdalenaczubakvlasak.wordpress.com.

4.5.3 Automotive

L'auto rappresentata nella *Figura 4.15* ricorda quei film di fantascienza ambientati nel futuro in cui le persone si spostano con dei mezzi più simili a navicelle spaziali che ad auto. Se nel futuro si usassero macchine come questa, allora significa che tutte le auto sarebbero stampate in 3D. Proprio così, dopo aver stampato edifici, ritratti, protesi, cibo e persino la superficie lunare, nel febbraio 2013 è presentato al mondo il primo mezzo di trasporto realizzato grazie al *3D printing*.

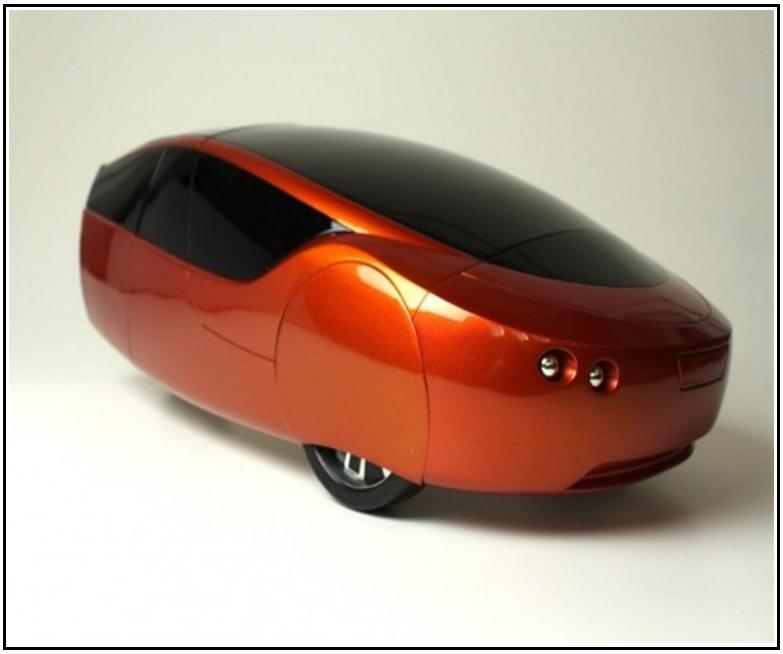


Figura 4.15: Urbee 2, la prima auto stampata in 3D. Fonte: www.dvice.com.

Jim Kor, ingegnere esperto nella progettazione di mezzi di trasporto, ha realizzato il suo sogno personale creato la prima macchina elettrica stampata in 3D, Urbee 2.
La KorEcologic ha progettato interamente l'auto in file CAD e li ha inviati a RedEye On Demand, società di *rapid prototyping* e *rapid manufacturing* del gruppo Stratasys. La produzione è durata circa 2.500 ore e si è adoperata la tecnica del *fused deposition modeling*, garantendo un controllo maggiore rispetto ad altri metodi produttivi e potendo aggiungere spessore e densità ad alcune specifiche sezioni. Costruita in plastica ABS (ad eccezione del motore e il telaio di base), dotata di tre ruote e una forza di frenata di 544 chilogrammi circa, Urbee 2 risulta più leggera rispetto ad altre auto e consente minori consumi di carburante. Il motore ha una potenza di dieci cavalli e il motore elettrico da 36 volt consente di raggiungere i 64 km/h. Il team di sviluppo di

questo mezzo di trasporto ha combinato la moltitudine di parti tipiche di un'auto in pezzi unici e semplici. Per esempio, quando è stato costruito il cruscotto, è stato eseguito con i tubi già attaccati in modo da non dover connettere le parti in seguito. Il prezzo stimato per Urbee 2 è di 50.000 dollari.

Il settore del *3D printing* quindi, è sbarcato anche nel mondo dell'auto con progressi a dir poco sorprendenti, che potrebbero apportare maggiore efficienza e qualità nonché generare una riduzione dei costi che le case automobilistiche devono sostenere. In questo settore, i metodi industriali tradizionali prevalgono ancora in termini di convenienza perché sfruttano le economie di scala e consentono di produrre grandi quantità di unità minimizzando i costi. Sulla base di questi presupposti, vale il discorso fatto nei primi paragrafi del capitolo: con lo stato tecnologico attuale, il *3D printing* non è in grado di garantire condizioni migliori della catena di montaggio a livello di tempistica e di costi ma, per quanto riguarda le produzioni di serie limitate, la stampa 3D può offrire condizioni favorevoli. Fino al momento storico in cui non ci sarà un'evoluzione significativa della tecnologia, il *3D printing* si dovrà concentrare su:

- produzione di prototipi;
- produzione di pezzi di auto personalizzate o prodotte in poche unità;
- sostituzione di pezzi di auto storiche;
- produzione di pezzi e materiali innovativi per auto da corsa.

La prototipazione nel settore *automotive* ha ricevuto un impulso determinante da parte della stampa tridimensionale perché gli consente di avere vantaggi considerevoli come riduzione dei tempi (settimane anziché mesi), costi inferiori, riduzione del peso, maggiore accuratezza nei dettagli e nelle misure che consente una riproduzione su scala reale più precisa, comunicazione commerciale e dimostrazioni più efficaci. Moltissime sono le case automobilistiche che hanno riconosciuto la validità del *rapid prototyping* e si sono dotate di stampanti 3D per eseguire modelli da valutare e testare, individuando le debolezze e i punti di forza. Le tecniche più utilizzate sono il *fused deposition modeling*, la stereolitografia e il Polijet.

Qui sotto è riportata una tabella in cui sono elencate tutte le case automobilistiche adottanti la tecnologia FDM e Polyjet, che hanno usufruito di *rapid prototyping* e che, in alcuni casi, hanno fatto ricorso al *rapid maufacturing*.

Casa automobilistica	Interventi di *rapid prototyping*
AMP Research	Sono stati messi a punto modelli fisici di *fuel door* per il veicolo Hummer H2 realizzato dalla General Motors.
BMW	Utilizza stampanti 3D per *rapid prototyping* e *direct digital manufacturing*. Le stampanti si utilizzano nel dipartimento in cui avviene l'assemblaggio a mano e consente di lavorare con apparecchi che pesano meno e permettono una maggiore funzionalità.
Dana Corporation	Si realizzano prototipi di sistemi di infiltrazione e di raffreddamento.
Ducati	Si realizzano modelli concettuali e prototipi accurati e durevoli di motori con componenti in policarbonato. I costi sono minimi rispetto ai sistemi tradizionali (un milione di euro con i mezzi tradizionali, un frazione di questo costo con FDM).
Hanil E-Hwa	Si producono prototipi di componenti interne per veicoli, l'uso medio al mese è di 600 ore e il risparmio per la compagnia è stato di $830.000 in cinque anni.
Harman Becker	Produce prototipi di sistemi audio esteticamente gradevoli e capaci di riprodurre la giusta qualità e integrità del suono.
Hyundai Mobile	Si prototipano condotti d'aria, meccanismi per agganciare le ruote e per la stabilizzazione del veicolo, si utilizza la stampante per 8.000 ore all'anno.
Jaguar e Land Rover	Inizialmente fu usata una stampante multi-materiale per produrre in un unico passaggio un sistema di sfiato per l'aria per Range Rover Sport. Si stima un uso della stampante di 5000 ore l'anno ma i dati sono solo su una piccola percentuale delle 30.000 parti prototipate ogni anno. Ancora, l'Objet Connex di Stratasys è usata per lo sviluppo di guarnizioni delle porte e altre parti per i test funzionali.
Joe Gibbs Racing	Si eseguono prototipi di parti di macchine da corsa in un giorno anziché settimane come accadeva con i metodi precedenti.
Klock Werks	Nella costruzione di una motocicletta speciale da esporre e guidare al 66th *Annual Sturgis Motorcycle Rally*, Klock Werks ha stampato in 3D capsule di misurazione, coperture per condotti con biforcazioni, castoni per i fari, coperture per i pavimenti e coperture per i distanziatori dei pneumatici. Oggetti, questi, non reperibili subito sul mercato e prodotti (*rapid manufacturing*) con tecnologia FDM a costi inferiori.
Lamborghini	È stato prodotto un prototipo della Lamborghini Aventador, proclamata Top Gear Car del 2011 con un costo di 400.000 dollari. Il tempo totale per la costruzione, inclusa la rimozione dei supporti, pitturare ecc., fu di 20 giorni; il costo totale di 3.000 dollari. Era stato costruito un precedente prototipo con i metodi tradizionali per un costo di 40.000 dollari e tempo di costruzione di quattro mesi. Lamborghini usa intensivamente la stampa 3D per i modelli delle sue automobili.
Minimizer	Si producono prototipi di paraurti in polietilene meccanicamente forti e resistenti al calore e a sostanze chimiche.
Northstar Manufacturing	Si producono prototipi che sono risultati utili per le parti mobili come bulloni, viti e cardini. I prototipi, dettagliati e precisi, sono usati per mostre commerciali, riunioni con clienti e dimostrazioni tecniche.

Orange County Choppers	Si creano prototipi di moto personalizzate progettate su richiesta dei clienti.
Parker Hannifin-Racor	Ha costruito il prototipo di un filtro per le emissioni dei veicoli che consente ai costruttori di motori diesel di rispettare le nuove esigenze.
Polaris	Fu eseguito un prototipo di una griglia/scaffale per le motoslitte in cui fosse possibile mettere zaini, una tanica di carburante o una vanga.

Tabella 4.5: Si riportano gli interventi di prototipazione rapida e *rapid manufacturing* eseguiti con la tecnologia FDM e Polijet da parte dei vari produttori di auto. Fonte: www.stratasys.com.

Grazie ai progressi della tecnologia tridimensionale, la produzione di parti di auto realizzate con la manifattura additiva sta diventando routine, e le persone hanno iniziato a considerare anche la ricreazione completa di auto d'epoca.

La stampa 3D non si limita a costruire prototipi o parti in plastica: alcuni tecniche consentono di costruire parti in metallo. Coloro che possiedono auto con un alto valore, oggi hanno la possibilità di riprodurre le parti che si sono danneggiate o rovinate. Questo tipo di operazioni vengono generalmente eseguite per automobili costose e "speciali" come una Ferrari, una Lamborghini, una Porsche o una Pagani; di certo non vale la pena erogare energie monetarie per una macchina standard come una Fiat Punto. Un'operazione che, per esempio, può prevedere il ricorso alla stampa 3D, potrebbe essere la riproduzione del contenitore di plastica del fluido per i tergicristalli di un'inestimabile auto classica come la Ferrari GTO. Questo tipo di contenitori venivano fatti con materiali economici destinati a rovinarsi nel corso del tempo a causa dell'azione del calore. Sicuramente qualsiasi contenitore con le stesse dimensioni avrebbe funzionato ma, per alcune macchine speciali, la sostituzione dev'essere esattamente la stessa, ed il *3D printing* questo lo permette.

La società Fused Innovation, sussidiaria del famoso negozio classico Motion Product Inc.[43], è anche in grado di scansionare la parte danneggiata e riprodurre un duplicato esatto realizzato con una plastica moderna più resistente.

A questo punto, si ritorna a parlare della personalizzazione come uno dei principali ruoli che potrà rivestire il *3D printing* nel futuro. La produzione di pezzi fatti su misura per le auto storiche può essere anche definita come la personalizzazione delle parti per alcune tipologie di veicoli. Come dimostrato, grazie alla precisione e ai costi, la creazione di

43 Motion Product Inc.: Fondata circa 30 anni fa da Wayne Obry, la società ha iniziato come negozio specializzato nella riparazione di macchine Ferrari e, nel corso del tempo è diventato il negozio più conosciuto a livello mondiale per il mantenimento e il miglioramento di una Ferrari.

pezzi unici è possibile con la stampa 3D.

In tempi recenti, anche il settore dell'auto da corsa ha potuto beneficiare dei vantaggi della prototipazione rapida e del *rapid manufacturing*. Risale a maggio del 2013 l'acquisizione della Provel[44] da parte del colosso della produzione additiva, 3D Systems. Questa società ha da sempre eseguito prototipi per i più prestigiosi marchi tra cui Ferrari, Fiat, Italdesign della Volkswagen e altri marchi della moda come Gucci o Bulgari.

Il *team* di Provel, composto da circa trenta persone, oggi si serve della tecnologia professionale di 3D Systems per competere con aziende il cui fatturato si aggira anche sui dieci milioni di euro.

Figura 4.16: La macchina da corsa progettata dal team dell'Università di Stoccarda, in Germania, avvalendosi della tecnologia EOS. Fonte: www.eos.info.

Nel mondo delle corse però, non c'è solo prototipazione ad opera del *3D printing*.

La tecnologia del *laser sintering* ha consentito di fare dei passi in avanti.

Il settore delle auto da corsa è considerato da molti l'incubatore di idee che vengono poi applicate all'intero settore *automotive*, il "laboratorio" in cui provare l'efficacia di tecnologie prima che inizino ad essere prodotte in serie. Un vasto numero di componenti delle auto da corsa sono *customizzate;* inoltre, poco peso e un alto grado di stabilità sono requisiti richiesti. La tecnica del LS consente di applicare il materiale dove è richiesto; in tal modo, i componenti che si ottengono sono allo stesso tempo estremamente leggeri e altamente rigidi, oltre che funzionali. Dato che nella produzione additiva non si usano strumenti per montare le parti, gli ingegneri possono realizzare progetti in cui si ottimizzano direttamente i dati CAD e si possono produrre varianti con breve avviso.

L'azienda tedesca di *3D printing* EOS, produttrice di stampanti *laser sintering*, collabora attivamente e supporta i gruppi universitari "Formula Student". L'obiettivo di

44 Provel: società di Pinerolo (Italia) specializzata nella stampa di di parti per occhiali, dentiere, panelli di controllo per auto da corsa e componenti del motore impossibili da riprodurre a mano.

queste competizioni internazionali tra università è la costruzione di un'efficiente auto che si imponga sulle altre durante la competizione annuale. Gli standard sono alti: i tempi di accelerazione e altri aspetti quali l'efficienza nel rifornimento del carburante e i costi sono importanti per il punteggio finale. Il team dell'Università di Stoccarda ha utilizzato il metodo LS di EOS per creare una sospensione per le ruote stabile e particolarmente leggera. Queste componenti hanno aumentato significativamente la performance dei veicoli e, dopo una stagione di successi, la "Uni Stuttgart" ha ottenuto la vittoria finale a Hockenheimring (Germania).

4.5.4 Medicina

Alla Washington State University, nel dipartimento di ingegneria meccanica e dei materiali, gli esperti studiano la creazione di tessuti umani, organi e vasi sanguigni attraverso la stampa tridimensionale. L'obiettivo è quello di creare parti del corpo personalizzate e adattate all'organismo del paziente a cui sono destinate. Questo è il fronte innovativo della medicina rigenerativa oggi.

I professori Susmita Bose e Amit Bandyopadhyay dell'Università di Washington agiscono su questo fronte facendo ricorso all'ingegneria molecolare e servendosi di quelle che vengono definite bio-stampanti. Queste ultime funzionano con il cosiddetto bio-inchiostro, ovvero gocce di liquido composte da decine di migliaia di cellule del paziente che vengono usate per creare nuovi tessuti ed evitano il rigetto immunitario.

Le prime bio-stampanti sono state prodotte dalla californiana Organovo[45] e dall'australiana Invetech[46] e dal 2009, grazie a questi ultimi ritrovati, si sono iniziate a vagliare le diverse possibilità che offre la medicina rigenerativa.

Le più recenti innovazioni nel *rapid manufacturing* in medicina vedono la creazione del lobo di un'orecchio alla Cornwell University nello stato di New York e il trapianto di vesciche prodotte in laboratorio da parte del Wake Forest Institute della California. Si sta esaminando anche la possibilità di produrre tessuti da impiantare su persone

45 Organovo: è una società con sede a San Diego, in California, che progetta e crea tessuto umano usando la sua tecnologia proprietaria di stampa tridimensionale. Lo scopo dell'impresa è quello di mettere a punto un tessuto umano che possa funzionare naturalmente come se fosse sempre appartenuto alla persona.

46 Invetech: società australiana che ha aperto da poco una sede in Svizzera, impiega più di 200 dipendenti ed è specializzata in progetti innovativi, nell'ingegneria e nella manifattura per la creazione di soluzioni pratiche e facilmente commercializzabili.

ustionate.

È facile riconoscere la forza innovativa che queste scoperte potrebbero portare nel settore medico. Le conseguenze potrebbero essere più che positive: dalla creazione di organi fatti su misura alla minimizzazione del rischio di rigetto e quindi ad un adattamento migliore dell'organo; ancora, la pratica dei trapianti potrebbe risultare facilitata. Secondo Gordon Wallace, direttore del centro di scienze degli elettromateriali dell'università di Wollongong in Australia, entro il 2025 sarà possibile fabbricare articolazioni, ossa e anche organi.

Il ricorso all'*additive manufacturing* è oggi una realtà concreta e comprovata e permette di risolvere alcuni problemi. che generalmente si presentano. Dato che ciascun individuo è unico, le protesi e gli impianti medici devono adattarsi perfettamente ed essere accettati dall'organismo, solo così possono apportare miglioramenti di lungo termine nella qualità di vita del paziente. I prodotti standard non sono in grado di garantire tali condizioni, quelli stampati tridimensionalmente invece, presentano qualità elevata e materiali compatibili dal punto di vista medico. Le tecniche usate in ambito medico sono: SLA, FDM, Polyjet, LS e EBM. Queste ultime due si sono rivelate molto valide soprattutto nella produzione di protesi.

L'azienda tedesca EOS e la svedese Arcam, che rispettivamente usano la tecnica DMLS e EBM, hanno messo a punto delle strutture per le "ossa artificiali stampate destinate ad essere impiantate nei pazienti e favorire l'integrazione con le ossa umane. EOS realizza i suoi prodotti con una struttura in lattice che aiuta una migliore guarigione post-operatoria e la cui superficie ruvida aiuta le ossa e gli impianti a fondersi meglio, senza necessità di spruzzare del liquido al plasma per farli aderire meglio attraverso un ulteriore costosa seconda fase di lavorazione. Arcam, invece, ha messo a punto una struttura che prende il nome di "*Trabecular Structures*". Quest'ultima viene prodotta con la tecnologia EBM e consente

Figura 4.17: Oggetto a forma di scodella costruito con Trabecular Structures. Fonte: www.arcam.com.

di ottimizzare l'adattamento all'organismo grazie alla ruvidità, alla densità relativa, alla grandezza e alla geometria dei pori con cui è costruita la struttura.

La produzione additiva di protesi e impianti prevede costi accettabili, anche per le parti singole altamente personalizzate. I produttori di impianti possono ottimizzare i modelli 3D basati su dati CAD in modo rapido e usufruendo della massima flessibilità, evitando effetti collaterali non desiderati e riducendo il tempo di permanenza in ospedale per il paziente.

C.J.Howard è un ragazzo californiano a cui è stata amputata la parte bassa della gamba a causa di un osteosarcoma. Da sempre ha avuto la passione per lo sport e, dopo aver conosciuto l'amico Mandy Ott, ha iniziato a praticare l'arrampicata sulle pareti rocciose. Un problema si manifestava costantemente: le scarpe che indossava sopra la protesi della gamba scivolavano sempre durante la fase di arrampicata. L'amico Ott, ingegnere ambientale e aerospaziale, disegnò una nuova protesi con un programma CAD che prevedeva una scarpa apposita per l'arrampicata con la punta inclinata verso il basso. Per la costruzione della protesi, Ott aveva già deciso che non si sarebbe avvalso del metodi tradizionali perché non avrebbero realizzato efficacemente la sua scarpa; così, decise di adoperare il *direct metal laser sintering* e rivolgersi ad un'azienda che aveva conosciuto per lavoro, la Morris Technologies Inc. In seguito alla suddivisione in strati del disegno a computer si iniziò la fase di stampa con il deposito di uno strato di polvere di titanio (dello spessore di circa cinque capelli) su una piattaforma, la successiva fusione e indurimento con un raggio laser. Il titanio è particolarmente adatto alla fabbricazione di protesi perché ha una robustezza superiore ad altri materiali e allo stesso tempo è leggero al punto giusto. La costruzione del piede durò 40 ore e la parte

Figura 4.18: Attrezzatura e protesi con la scarpa per l'arrampicata progettata da Mandy Ott e stampata da Morris Technologies con EOS. Fonte: www.eos.info.

stampata fu poi ricoperta dalla stessa gomma usata per le suole delle scarpe da arrampicata.

In tutto il mondo, in questi ultimi anni, si vede una parte sempre maggiore di popolazione ormai non più giovanissima che adotta uno stile di vita frenetico. Questi cambiamenti demografici corrispondono anche con un mercato di impianti ortopedici sempre in crescita.

La Società Italiana di Ortopedia e Traumatologia ha collocato l'Italia ai primi posti in Europa per quanto riguarda il numero di impianti di protesi: quasi 100.000 protesi nel 2012 e il numero delle operazioni cresce del 5% ogni anno. L'età media del primo intervento è di 56 anni per la protesi d'anca e 65 per la protesi al ginocchio. L'impianto delle protesi non avviene sempre per danni dovuti a cause naturali: si devono considerare anche i veterani di guerra che, da soli, costituirebbero già un mercato più che abbondante. Secondo i dati del Dipartimento della Difesa statunitense, circa 800 veterani della guerra in Iraq hanno subito l'amputazione di una gamba o di un braccio, circa 194 ha perso in modo parziale piedi o dita. Per la guerra in Afghanistan i dati invece passano a 696 per le braccia o le gambe e 28 per i piedi o le dita.

Questi tristi dati sono stati forniti per far capire quanto il mercato della creazione delle protesi possa essere florido per il settore del *3D printing*. Infatti, secondo il listino ufficiale dei prezzi delle protesi, basato sulla classificazione ISO 9999[47], il prezzo delle protesi può variare dai trenta ai quindicimila euro con i mezzi tradizionali.

Per un'azienda che si avvale della produzione additiva ci sarebbero importanti vantaggi a livello monetario. Visto che il costo per stampare una protesi sarebbe piuttosto modesto rispetto a quello applicato dai metodi tradizionali, i margini applicabili dall'azienda potrebbero davvero essere buoni.

Un'altra funzione che viene svolta dalla produzione additiva è quella di produrre apparecchi e attrezzatura medica complessa, di alta qualità e prodotta in piccole serie: essa non richiede strumenti particolari per la produzione e garantisce un'efficienza di costo che con i metodi tradizionali non si potrebbe avere. Per esempio, Andreas Hettich Gmbh era un'impresa che produceva fino a mille centrifughe l'anno che consentivano la sedimentazione e separazione del sangue. Fu messo a punto un motore più potente con

47 Classificazione ISO 9999: "Nomenclatore tariffario delle prestazioni sanitarie protesiche", con riferimento alla classificazione ISO 9999: 1998, approvato come norma europea EN ISO 9999.

sei contenitori e carrelli per lo sgocciolamento. I contenitori erano realizzati con una geometria complessa e soggetti ad un'alta velocità di rotazione. Producendo l'attrezzature con la produzione additiva si risparmiarono i costi dell'attrezzatura. Furono prodotte varie versioni per le diverse sacche di sangue.

4.5.5. Odontoiatria

Il *3D printing* ha invaso anche il settore dentistico e la cosa era abbastanza scontata una volta vista la vasta gamma di beni stampati in altri ambiti di applicazione.

La stampa 3D garantisce l'efficienza del disegno digitale nella fase di progettazione e la precisione della stampa 3D nella fase di produzione. Essa permette a questo business di crescere eliminando il problema della modellazione artigianale dei modelli, che costituiva solo un *bottleneck* per il settore. L'odontoiatria digitale consente ad un numero sempre maggiore di laboratori medico-dentali di velocizzare la produzione aumentando la precisione ed il controllo: l'odontoiatria digitale diventa parte della loro strategia di business. I vantaggi principali che la stampa 3D consente di avere sono:

1. possibilità di personalizzare gli impianti;
2. riduzione dei costi di produzione;
3. riduzione dei tempi di produzione;
4. qualità elevata dei prodotti stampati;
5. possibilità di apportare cambiamenti facilmente al file CAD;
6. maggiore autonomia per gli studi dentistici con l'installazione di una stampante al loro interno;
7. eliminazione dal magazzino dei modelli fisici di denti dei pazienti: i modelli vengono digitalizzati;

Vista l'ampia varietà di interventi che possono essere eseguiti su un paziente odontoiatrico (costruzione di parti di denti, creazione di protesi ecc.) i metodi di stampa utilizzati sono vari. Nella tabella qui sotto sono riassunte le principali tecniche di stampa 3D utilizzate dai laboratori dentistici per i loro pazienti. Tali tecniche sono classificate in base ai principali produttori (3D Systems, Stratasys e EOS) di stampanti 3D che si avvalgono di questi metodi produttivi in ambito dentistico.

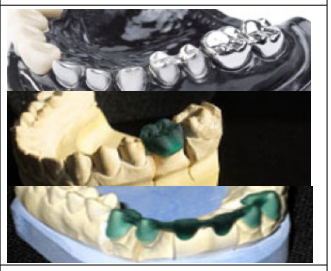
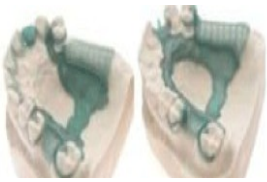
Intervento dentistico	3D Systems	Stratasys	EOS	Foto del tipo di intervento
Modelli da analizzare	Stereolitografia, Multi-Jet Modeling (SLA, MJM)	Polijet	Direct metal Laser Sintering (DMLS)	
Copie, Corone e Ponti	Multi-Jet Modeling, Selective Laser Melting (MJM, SLM)	Polijet	Direct metal Laser Sintering (DMLS)	
Impalcatura dentale parziale	Multi-Jet Modeling (MJM)	Polijet		
Guide trapanate impiantate	Stereolitografia (SLA)		Direct metal Laser Sintering (DMLS)	
Parti dentali metalliche	Selective laser melting (SLM)		Direct metal Laser Sintering (DMLS)	
Chirurgia orale	Stereolitografia (SLA)			
Ortodonzia	Stereolitografia (SLA)	Polijet		

Tabella 4.6: Per ogni tipo di operazione dentistica sono riassunte le principali tecniche di stampa 3D utilizzate, classificate in base a tre produttori principali: 3D Systems, Stratasys e EOS. Fonte: www. 3Dsystems.com, www.stratasys.com, www.eos.info.

La BEGO[48] USA è una divisione del più che centenario gigante tedesco di prodotti dentari, BEGO Gmbh. La divisione statunitense è stata fondata nel 1991. Il suo presidente, Bill Oremus, dopo aver valutato che l'attuale linea di produzione dei prodotti sarebbe diventata obsoleta in dieci-quindici anni, iniziò ad affacciarsi nel panorama della produzione additiva. La sede centrale della BEGO, in Germania, aveva adottato la produzione additiva per i suoi prodotti ben otto anni prima rispetto alla divisione statunitense. La BEGO USA acquistò la tecnologia EOS (EOSINT M 270) e, in meno di un anno, arrivò a produrre centinaia di unità alla settimana, con alta densità del materiale e senza porosità. I clienti inviano un file.stl con la scansione della bocca del paziente e BEGO, dopo un rapido controllo del materiale, produce la parte in 48 ore circa. Il presidente, Oremus, racconta che il DMLS è un metodo rapido ed economico: con i metodi per creare stampi tradizionali si producevano circa 20 strutture al giorno mentre con il DMLS si può arrivare persino a 450 unità di corone e ponti nello stesso tempo. Oremus ha affermato anche che la qualità delle ristrutturazioni è più elevata (circa il 30% di precisione in più rispetto ai metodi tradizionali), la struttura delle superfici dei denti è molto meglio, l'integrità dei margini è ottima.

4.5.6. Interior design

Il design innovativo, originale, elegante, funzionale, il design italiano come arte, oggi, può essere stampato in 3D. Letteralmente “progettare”, design è un termine inglese utilizzato per descrivere lo stile personale dell'artista che ha disegnato un prodotto. Il settore dell'arredamento è stato classificato come una delle quattro “A” del Made in Italy, ovvero come uno dei quattro settori in cui l'Italia si può contraddistinguere nel mondo. Oggi il design diventa “stampabile”.

Gli oggetti che vengono stampati traducono la creatività e l'originalità dell'autore che li ha progettati a computer, anzi, con una stampante 3D il progettista ha il vantaggio di poter utilizzare materiali che prima prevedevano lavorazioni complesse e laboriose. Ad esempio, se l'artista volesse realizzare una sedia particolare in titanio, oggi lo può fare

48 BEGO: piccola-media impresa di fama mondiale fondata nel 1890 dal Dottor H. C. Wilhelm Herst, un dentista che ricevette una laurea ad honorem per la messa a punto, nella pratica del restauro dentale, di speciali piombature dorate realizzate attraverso innovativi metodi di rotazione. La società ha aperto diverse filiali nel mondo e produce sistemi dentistici usando l'innovazione come arma vincente.

semplicemente creando un file CAD e procedendo alla stampa con un clic. Gli accessori di design che sono presenti nelle case sono numerosi, di vario genere e tipo, quindi, in base al tipo di bene che si intende realizzare, si utilizza una tecnica di stampa piuttosto di un'altra.

Si stanno facendo largo nel panorama italiano delle imprese il cui *core business* è incentrato sulla produzione di oggetti di design attraverso delle stampanti 3D. È doveroso menzionare, per i riconoscimenti e il successo ottenuto a livello internazionale, un'impresa originaria di Trento che si chiama ".exnovo". Come recita lo slogan "*sculture digitali per fabbricare idee*", .exnovo è attiva nel settore del design proponendo lampade, complementi d'arredo e gioielli realizzati attraverso la tecnica del *laser sintering*. Quest'impresa è stata in grado di fondere l'artigianalità con lo sviluppo tecnologico dando vita ad un continuum che si è qualificato come carattere distintivo dell'azienda. Dopo numerose interviste nelle radio e presentazioni all'università Bocconi di Milano, nella primavera del 2013 per la prima volta .exnovo ha esposto i suoi prodotti nel padiglione Euroluce al Salone del Mobile di Milano e nel luglio dello stesso anno ha esibito le sue opere in un *loft* di Manhattan grazie al progetto "Design-Apart".

Figura 4.19: Supernova è la lampada da tavolo disegnata Ignazio Pomini per l'impresa .exnovo.

Figura 4.20: Notte Hanging è la lampada a sospensione disegnata da Selvaggia Armani per l'impresa .exnovo.

Il traguardo più importante, forse però, si è ottenuto con la partecipazione alla mostra "La Mano" del MUSE, lo straordinario museo delle scienze progettato da Renzo

Piano che è stato inaugurato a Trento.

4.5.7. Lifestyle product: gioielleria, articoli prodotti per lo sport e per hobby

I limiti che pongono i metodi tradizionali nella personalizzazione dei prodotti si sta facendo sentire sempre di più in alcuni settori, come ad esempio la gioielleria, le calzature e l'orologeria. Queste difficoltà sono sempre maggiori all'interno di un mercato in cui le imprese sono schiacciate dal prezzo delle materie prime, da richieste di customizzazione e dalla necessità di rendere la produzione più flessibile e decentralizzata. La produzione additiva consente di superare queste restrizioni.

Essa consente alta qualità, tempi brevi ed economicità. Alcune imprese che producono beni di lifestyle hanno costituito divisioni di ingegneri che hanno il compito di valutare le possibilità offerte dalle innovazioni tecnologiche. Prodotti come lampade e sedie, oltre che articoli di gioielleria possono assumere le forme più strane.

Si prefigurano numerose possibilità di business offerte alle imprese da parte delle tecnologie attuali. Con costi bassi si possono attuare strategie vincenti che prevedono il ricorso ad internet per la creazione di prodotti personalizzati, il marketing e la commercializzazione.

La stampa 3D poi avrà l'onere della produzione economica di tali beni.

Figura 4.21: Gemelli lucidati di oro giallo da 18 carati, disegnati da Digital Foaming e stampati con la tecnica del DMLS.

Nel settore della gioielleria, il valore principale è dato dal design. Le stampanti 3D assicurano la realizzazione di gioielli con rifiniture dettagliate e precise. EOS per esempio, ha iniziato una collaborazione con Cookson Precious Metal, il più importante fornitore europeo di prodotti in metalli preziosi.

Le stampanti 3D vengono utilizzate oggi anche per la produzione di oggetti per lo sport, di calzature particolari come quelle progettate dal designer britannico Kerry Luft, di prototipi per i giocattoli, di prodotti di elettronica e così via.

4.5.8. Conclusioni

Sono molti coloro che denunciano la stampa 3D come un fenomeno senza futuro, destinato ad arenarsi sullo scoglio della prototipazione rapida, la quale verrebbe

assimilata come l'unica funzione che le stampanti tridimensionali potranno ricoprire nel futuro. Sicuramente non si può negare il fatto che attualmente questo settore è molto attivo nella pratica del *rapid prototyping* ma, tuttavia, è anche necessario ammettere che non si tratta dell'unica funzione svolta e che gli ambiti di applicazione su cui versano i benefici portati da questa tecnologia *cutting-edge* sono molti.

Alla prototipazione rapida si affianca quella che potrebbe essere la vera e propria attività della stampa 3D nel futuro, la manifattura additiva. Quest'ultima presenta due grosse macro-suddivisioni: la produzione su larga scala e la produzione di piccole serie di unità limitate. La realizzazione di un basso numero di pezzi comprende anche la personalizzazione di prodotti unici, fatti su misura per un determinato soggetto. Al contrario dei tradizionali metodi produttivi, la stampa 3D rende possibili le *short-run production* e rappresenta il mezzo più indicato per customizzare i beni, seguendo la corrente a cui sembra destinato il mercato futuro, quella della personalizzazione.

Grazie alla capacità delle stampanti tridimensionali di realizzare larghissima parte dei prodotti che circondano la vita quotidiana di ogni persona, tutti questi beni possono essere personalizzati. Analizzando i settori industriali in cui è presente il *3D printing* è possibile rendersi conto del grado di personalizzazione a cui si può arrivare e di quanto questa innovazione sia inserita nella società, anche senza la consapevolezza delle persone con cui viene a contatto. È quindi opportuno fare un appello a tutti coloro che hanno la fervente passione di giudicare le cose o schierarsi da una parte o dall'altra con la presunzione avere una verità assoluta o di essere sempre nel “lato buono”: è importante informarsi, poi, è possibile avere la propria opinione sulle cose.

Conclusione generale

Il percorso evolutivo che ha caratterizzato la produzione industriale nel corso del tempo permette di esaminare, nelle diverse epoche storiche, l'articolarsi delle preferenze e dei gusti dei consumatori, le strategie adoperate dalle imprese per ottenere la massima efficienza in termini di costi e di ricavi e le conseguenze dell'adozione di una determinata tecnologia produttiva.

Negli ultimi vent'anni, i segni dell'abbandono del mercato di massa tipico della prima metà del XX° secolo sono stati evidenti. Questo modello vedeva come protagoniste le grandi multinazionali che riuscivano ad ottenere notevoli vantaggi dal punto di vista economico grazie alla standardizzazione dei prodotti. Negli anni '70 prevalevano i mercati frammentati. Oggi, si registra un aumento della percentuale delle richieste di beni individuali e non si ha più la frammentazione in segmenti perché non si riescono a costituire gruppi abbastanza numerosi di persone con una gamma di preferenze uniformi; il mercato vede le singole imprese rapportarsi direttamente con i singoli clienti utilizzando per la maggior parte dei casi la rete Internet. I consumatori desiderano avere un prodotto unico, diverso dagli altri, vogliono avere la possibilità di interagire direttamente con il produttore e scegliere in prima persona la forma, il colore, gli accessori e i servizi di cui disporre. Il mercato è personalizzato e la personalizzazione riguarda, per eccellenza, la produzione su piccola scala. Quest'ultima implica la realizzazione di basse quantità di prodotti, ovvero serie limitate che variano dai mille pezzi o dai cento pezzi fino ad un solo prodotto.

I metodi tradizionali industriali sfruttano le economie di scala producendo enormi quantità di beni, abbattendo i costi fissi abbastanza facilmente ed ottenendo un costo marginale unitario per prodotto che diminuisce mano a mano che cresce la quantità. Qualora si debbano realizzare piccole quantità di prodotti, i vantaggi delle economie di scala vengono meno: non si raggiunge il *break even point* che consente di coprire i costi sufficienti per generare ricavi. Gli studiosi si interrogano sul modo che consentirebbe di ovviare a questi problemi. Si può continuare ad insistere sulla tecnologia tradizionale oppure puntare su qualcosa di più innovativo, come la manifattura additiva.

I vantaggi che contraddistinguono l'uso delle stampanti 3D designano questo sistema di manifattura additiva d'eccellenza come il più adatto per produrre beni personalizzati. Il *3D printing* è un'innovazione che, sebbene sia stata scoperta negli anni '80, è ancora in fase di sviluppo e la prospettiva di miglioramento è notevole.

Nella produzione su larga scala, la stampa 3D non riesce ancora ad entrare in competizione con il sistema della catena di montaggio a causa dei tempi di produzione troppo lunghi e dei costi elevati. Per quanto concerne invece la *short-run* production, ci sono molti casi che in questo frangente hanno dimostrato l'efficienza della stampa 3D e la sconvenienza dei metodi tradizionali. Infatti, nelle *short-run* production si è prossimi alla fase di discontinuità tecnologica, ovvero alla fase in cui ci sarà la sostituzione della vecchia tecnologia, rappresentata dai metodi tradizionali di produzione, con la nuova tecnologia, rappresentata dalla stampa 3D. Nella produzione su larga scala invece, questo passaggio si potrà avere solamente quando saranno fatti ulteriori passi in avanti per la riduzione dei tempi necessari per stampare gli oggetti.

La realizzazione di beni su piccola scala ad opera delle stampanti 3D è una funzione che rinchiude al suo interno due sottoinsiemi: il *rapid prototyping* e il *rapid manufacturing*. Mentre la prototipazione rapida si riferisce alla creazione di modelli per le imprese, il *rapid manufacturig* indica la realizzazione di beni finiti, pronti ad essere usati. In quest'ultimo ambito, una pratica diffusa è quella della personalizzazione. In un numero crescente di industrie si sta facendo ricorso alla tecnologia del *3D printing* proprio grazie alla sua capacità di realizzare prodotti che si adattano alle caratteristiche specifiche dell'utente finale o al contesto a cui sono destinate. A questa importante proprietà se ne aggiungono altre di altrettanto rilevanti come costi bassi, capacità di realizzare strutture complesse, elevata precisione nei dettagli, possibilità di modificare il progetto e nessuno spreco di materiale.

Gli oggetti stampati presentano un buon design e spaziano dai più banali accessori di bigiotteria fino a organi artificiali o vasi sanguigni da impiantare nell'organismo dei paziente. In qualsiasi settore sono in atto studi e ricerche che puntano a migliorare l'efficienza dei processi produttivi esistenti attraverso l'uso congiunto del *3D printing*.

Nel futuro, i beni potrebbero essere fabbricati vicino al punto di acquisto o di consumo e la produzione di alcuni oggetti potrebbe avvenire in casa propria. Anche se il costo

unitario di produzione dovesse essere maggiore, sarebbe più che compensato dall'eliminazione della spedizione e del magazzino. Per esempio, oggi le auto vengono prodotte da alcune centinaia di fabbriche nel mondo ma un giorno potrebbero essere fabbricate nelle concessionarie o nelle officine di riparazione locali e si potrebbe eliminare la necessità di una catena di fornitura producendo le componenti al bisogno.

Una possibile implicazione che potrebbe seguire l'affermazione massiccia della stampa 3D può riguardare il fatto che la Cina perderebbe tutti quei fattori di forza che l'hanno proclamata "laboratorio del mondo". Questo paese ha spinto fino al limite il modello della produzione di massa accaparrandosi contratti di produzione in outsourcing di moltissime aziende di tutto il mondo. Oltre ad aggregare una domanda talmente elevata da creare efficienze di scala senza precedenti, è riuscita a minimizzare il costo del lavoro in modo drastico. In questi anni, il governo cinese ha cercato di favorire l'insediamento dei produttori esteri rendendo più florida l'economia del paese e migliorando lo standard di vita dei consumatori.

Con un modello flessibile, distribuito e di piccola scala come quello che potrebbe instaurarsi in seguito all'affermazione della stampa 3D, i vantaggi creati dalla Cina verrebbero meno. Nonostante i probabili sforzi che potrebbe attuare l'Occidente per ridurre il potere di questa tenace nazione, essa non si classificherebbe mai come una perdente grazie allo sfruttamento dei benefici derivanti dal mercato interno, che verrebbe servito su basi locali. L'unico inconveniente per la Cina sarebbe la perdita del ruolo di protagonista di un tempo.

Nulla di quanto si è supposto è certo ma, se la stampa 3D fosse in grado di modificare gli assetti attuali e accadesse anche solo una parte di quanto predetto, questo consentirebbe di risolvere alcuni dei problemi che assillano l'Italia e l'Europa, come la mancanza di posti lavoro a causa della delocalizzazione degli stabilimenti all'estero.

Inoltre, come si è parlato nel corso dei capitoli, il *3D printing* potrebbe consentire di dare risalto al lavoro intellettuale, alla creatività e all'originalità. Gli italiani, maestri nell'arte di creare soluzioni originali, potrebbero godere di questa situazione.

Potrebbe dunque la stampa 3D contribuire ad accrescere il valore del Made in Italy e aiutare il paese a risollevarsi dalla crisi economica?

Potrebbe riuscire a modificare gli equilibri mondiali ed essere il motore per una quarta rivoluzione industriale?Ovviamente questo è tutto da vedere ma, se viene sfruttata nella maniera adeguata, le probabilità che la stampa 3D riesca a dare importanza al lavoro intellettuale ed esaltare il Made in Italy sono buone.

Bibliografia

1. *Beyond Mass Production* (*The Japanese System and its transfer to the U.S.*), Martin Kenney e Richard Florida, Oxford University Press, 1993, Oxford New York
2. *From mass production to flexible/agile production*, Claude R. Duguay, Sylvain Landry e Federico Pasin, International Journal of Operations & Production Management, Vol. 17 No 12, 1997, pp. 1183-1195, ©MCB University Press;
3. *Gestione dell'innovazione*, Melissa A. Shilling, McGraw-Hill, 2009, Milano;
4. *Gestione delle imprese internazionali*, Matteo Caroli, McGraw-Hill, 2012, Milano;
5. *Il marketing e la rete*, Tiziano Vescovi, Il Sole 24 ORE, 2007, Milano;
6. *The impact of virtual simulation tools on problem-solving and new product development organization*, Markus C.Becker, Pasquale Salvatore, Francesco Zirpoli, Research Policy, 34 (2005) 1305-1321, 2005, www.sciencedirect.com;

Sitografia

Siti più visitati:

http://www.arcam.com
http://www.eos.info/
http://www.fabathome.org/
http://www.makerbot.com/
http://www.stratasys.com/
https://www.ultimaker.com/
http://www.3ders.org/
http://www.3dsystems.com/solutions/automotive

Altri siti:

http://www.agendageek.it/stampa-3d-brevetti-in-scadenza-e-nuove-rivoluzioni/
http://www.apri-rapid.it/fdm.htm
http://architecture.mit.edu/faculty/skylar-tibbits
http://www.arptech.com.au/services/slsdiag.gif
http://www.articolotre.com/2012/11/ortopedia-in-italia-100mila-protesi-dellanca-allanno/116656
http://www.bath.ac.uk/news/2012/09/17/shortlisted-the-awards/
http://biodisplay.tyrell.hu
http://www.bn.camcom.it

www.candy.it
http://www-cdr.stanford.edu/biomimetics/sdm.html
http://www.cerpc.it/orientamento/orientamento.htm
http://cityelectric.info/wp-content/uploads/2009/12/polyjet.jpg
http://www.criscaso.com/Fresa%20tre%20assi.html
http://www.crowdsourcing.org/
http://crowdsourcing.toweb.co/cos-e-il-crowdsourcing/
http://www.cubictechnologies.com/Helisys.htm
http://www.custompartnet.com/wu/fused-deposition-modeling
http://dailycrowdsource.com/crowdsourcing-basics/what-is-crowdsourcing
http://www.dezeen.com/2013/03/07/road-ready-3d-printed-car-on-the-way/
http://www.deskeng.com/articles/aabgct.htm
http://dma.dima.uniroma1.it:8080/users/boschetto/SIP/Dispense/SIP%201213-06%20RP.pdf
http://www.dvice.com/2013-2-28/3d-printed-car-plans-cross-country-10-gallons-ethanol
http://www.economist.com/node/18114327?story_id=18114327
http://www.econ.uniurb.it/materiale/2815_CAP%2011%20pellicelli.pdf
http://enelgreenpower.liquida.it
www.emeraldinsight.com
http://www.engineering.com
http://www.exnovo-italia.com/
http://www.fablabitalia.it/about#.UjXfjTn8RrM
http://fablabtorino.org/?page_id=8
http://gadget.wired.it/news/mondo_computer/2013/03/12/modelli-stampanti-3d-462754.html
http://gadget.wired.it/news/mondo_computer/2013/05/09/3d-printing-stampa-maker-republica-456794.html
http://www.geosyntec.com/UI/Default.aspx?m=MainAboutUs
http://goccediarmonia.blogspot.it/2012/01/iiia-la-globalizzazione-appunti-di.html
http://www.hbritalia.it/blog/item/996-la-stampa-3-d-cambierà-il-mondo.html
http://www.ice.gov.it
http://www.idalabdesign.com
http://www.ideaprototipi.info
http://www.ilmessaggero.it/tecnologia/hitech/stampante_3d_organi_tessuti_umani_medicina_trapianti/notizie/296982.shtml
http://www.informatichissimo.net/2013/07/cosa-sono-le-stampanti-3d-e-come.html
http://www.inf-os.it/temp/inf-os/smaupadova2013.pdf
http://www.insideview.com
http://www.invetech.com.au/company/about-us/
http://www.youtube.com/watch?v=W0n9A_5_CG0
http://www.kickstarter.com/
http://www.reprapcentral.com/vmchk.html
http://www.repubblica.it/tecnologia/2012/03/08/news/inventori_futuro-31153935/
http://www.lastampa.it/2012/11/26/tecnologia/arrivano-i-makers-i-nuovi-artigiani-dell-era-digitale-h98WXWmtTrsCqXwIzG2bJK/pagina.html
http://www.letsave.it/site/index.php?a=prog&os=Windows&cat=Design-

Photo&subcat=3D-Modeling&det=206
http://www.lidiopoian.com
http://www.makeacube.com
http://makerfaire.com
http://www.makerfairerome.eu
http://www.mass-customization.de/
http://www.mastergraphics.com
http://www.materialise.com/cases/the-areion-by-formula-group-t-the-world-s-first-3d-printed-race-car
http://www.media.mit.edu/
http://www.musclecarclub.com/other-cars/classic/ford-model-t/ford-model-t.shtml
http://www.muse.it/Pages/default.aspx
http://news.cnet.com
http://news.cnet.com/8301-17938_105-57571856-1/3d-printed-car-saves-money-energy/
http://it.objet.com/
http://www.organovo.com/company/about-organovo
http://www.odontotecnici.net/odontotecnici/index.html#/18/
https://www.paypal.com
http://www.parison.it
http://www.pcmag.com/article2/0,2817,2399887,00.asp
http://phys.org/news/2013-02-architect-unveils-concept-4d-ted.html
http://www.ponoko.com
http://www.popularmechanics.com
http://www.publiteconline.it/costruire-stampi/contenuti/prototipazione/item/1450-stampanti-3d-di-_ultima-generazione
http://www.quickparts.com/LowVolumePrototypes/SLS.aspx
http://www.ray-ban.com
http://www.rapidtoday.com
http://reprap.org/wiki/RepRap
http://ricerca.repubblica.it/repubblica/archivio/repubblica/2013/04/26/le-officine-delle-creativita-conquistano-litalia-costruiamo.html
http://www.ridble.com/stampa-3d/
http://www.shapeways.com
http://www.slideshare.net/FablabItalia
http://www.solidoodle.com
http://www.stampaprototipi.it
http://www.stampa3d.com/
http://nextrends.swissnexsanfrancisco.org/can-3d-printing-go-green/
http://www.ted.com/talks/lisa_harouni_a_primer_on_3d_printing.html
http://www.ted.com/talks/skylar_tibbits_the_emergence_of_4d_printing.html
http://www.economist.com
http://www.tafterjournal.it/2011/10/04/le-nuove-frontiere-della-produzione-la-digital-fabrication/
http://www.theguardian.com/artanddesign/architecture-design-blog/2013/apr/10/4d-printing-cancer-nano-robots

http://www.thepostinternazionale.it
http://thesupercarkids.com/this-man-is-3d-printing-an-aston-martin-that-works/
http://www.thingiverse.com/
http://www.toptobottomdental.com/oral-surgery.html
http://www.torinosocialinnovation.it/il-boom-dei-fablab-in-italia/
http://tv.wired.it/entertainment/2012/12/06/arduino-creare-e-un-gioco-da-ragazzi-eng-sub.html
http://ultimaker.com
http://www.unife.it/centri/diaprem/archivioprogetti/Prototipazione_sacrestia_nuova/pagina_standard
http://www.vectorealism.com/
http://www.wedofablab.com/
http://www.who.int/medical_devices/survey_resources/medical_device_technical_specifications_italy_1.pdf
http://www.wired.com
http://www.wired.com/autopia/2013/02/3d-printed-car/
http://www.wired.com/dangerroom/2013/02/cost-of-war/ 8.02.2013
http://www.wohlersassociates.com
http://www.wtec.org/aboutus.htm
http://www.zcorp.com/it/home.aspx
http://www.12manage.com
http://3dprinterhub.com/it/che-cose-la-stampa-3d
http://3dprinting.com
http://3dprintingindustry.com
http://3dquickparts.com.au